



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY* (HF) SIMO 1x2 DENGAN SKEMA *MAXIMUM RATIO COMBINING***

Rizki Arvianta  
NRP 07111440000185

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

## HIGH FREQUENCY SIMO 1x2 COMMUNICATION SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS WITH MAXIMUM RATIO COMBINING

Rizki Arvianta  
NRP 07111440000185

Supervisors  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY (HF)* SIMO 1x2 DENGAN SKEMA *MAXIMUM RATIO COMBINING***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Rizki Arvianta  
07111440000185



**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI HIGH  
FREQUENCY (HF) SIMO 1x2 DENGAN SKEMA  
MAXIMUM RATIO COMBINING**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Prof. Ir. Gamantyo H. M. Eng., Ph.D.**  
**NIP. 197011111993031002**

  
**Dr. Ir. Achmad Mauludivanto, MT.**  
**NIP. 196109031989031001**





# **ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *HIGH FREQUENCY (HF)* SIMO 1x2 DENGAN SKEMA *MAXIMUM RATIO COMBINING***

Nama : Rizki Arvianta  
NRP : 07111440000185  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **ABSTRAK**

Sistem komunikasi HF merupakan sistem komunikasi yang mempunyai *range* frekuensi dari 3-30 MHz dengan panjang gelombangnya sekitar 10-100 m. HF berguna untuk komunikasi jarak jauh dengan jarak komunikasinya sekitar 150 sampai ribuan km di seluruh dunia dengan memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang menuju belahan bumi tanpa menggunakan relay satelit, serta mengantisipasi efek dari bencana alam agar komunikasi tetap berjalan di kawasan bencana tersebut. Kualitas informasi yang diterima berperan penting dalam berkelanjutannya informasi tersebut. Sistem komunikasi HF dengan menggunakan metode SIMO 1x2 dengan skema MRC bertujuan untuk meningkatkan kualitas informasi yang akan diterima terutama pada kawasan bencana. Teknologi HF SIMO dengan skema MRC ini menjadi salah satu sistem komunikasi alternatif untuk mengatasi daerah yang rawan bencana alam. Pada sisi pemancar dan penerima, masing-masing memiliki 1 antena dan 2 antena untuk metode *Single Input Multi Output* (SIMO) pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang. Proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan skema MRC dapat memperhitungkan parameter SNR dan BER untuk mengetahui seberapa besar kualitas informasi yang diterima. Dan, didapatkan bahwa peningkatan SNR sebesar 6,7-8,7 dB dan penurunan BER sebesar 3,1-3,2 kali lipat penurunan.

Kata kunci : BER, MRC, Sistem Komunikasi HF, SIMO 1x2, SNR

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **HIGH FREQUENCY SIMO 1x2 COMMUNICATION SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS WITH MAXIMUM RATIO COMBINING SCHEME**

Name : Rizki Arvianta  
NRP : 07111440000185  
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D.  
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **ABSTRACT**

HF communication system is a communication system that has a frequency range from 3-30 MHz with a wavelength of about 10-100 m. HF is useful for long distance communications with communications spacing of about 150 to thousands of km worldwide using the ionosphere to reflect waves to the hemisphere without the use of satellite relays, as well as the impact of these natural disasters in order to continue working in that affected area. Complete information that contains important information in its sustainability. HF communication system using SIMO 1x2 method with MRC theme serves to improve the quality of information that will be received specially in disaster area. HF SIMO technology with this MRC arrangement becomes one of alternative communication system to overcome disaster-prone areas. On the transmitter and receiver sides, each have 1 antenna and 2 antennas for Single Input Multi Output (SIMO) method at link of Bandung-Surabaya and Surabaya-Malang. HF with MRC method can calculate SNR and BER parameter to know much information received. And, it was found that the increase of SNR by 6,7 until 8,7 dB and decrease of BER by 3,1 until 3,2

Keywords: BER, HF Communication System, MRC, SIMO 1x2, SNR

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh. Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kemudahan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang saya ambil pada semester 8 ini yang berjudul "**Analisis Kinerja Sistem Komunikasi High Frequency (HF) SIMO 1x2 dengan Skema Maximum Ratio Combining**". Tanpa pertolongan-nya, mungkin saya tidak akan sanggup menyelesaikannya dengan baik.

Laporan buku Tugas Akhir ini disusun agar pembaca dapat memperluas ilmu tentang Kinerja Sistem Komunikasi HF, baik dari segi teori maupun aplikasi penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Laporan Tugas Akhir ini disusun oleh saya dengan berbagai rintangan baik itu yang datang dari saya maupun yang datang dari luar.

Namun, dengan penuh kesabaran dan keuletan, saya dapat menyelesaikan laporan buku Tugas Akhir ini. Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu, baik berupa do'a, bimbingan dan jasa, diantaranya :

1. Bunda saya yang selalu menasehati dan memotivasi saya;
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng, Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT., selaku dosen pembimbing saya yang banyak memberikan nasehat, saran, serta referensi untuk Tugas Akhir ini, sehingga buku Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik;
3. Rekan-rekan asisten Laboratorium Antena dan Propagasi Departemen Teknik Elektro FTE-ITS.

Semoga laporan buku Tugas Akhir ini dapat memberikan pengetahuan yang lebih luas kepada pembaca terhadap teori yang terdapat di ilmu Sistem Komunikasi HF dan aplikasi penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari. Walaupun laporan buku Tugas Akhir ini memiliki kelebihan dan kekurangan, penulis membutuhkan kritik dan saran dari pembaca yang membangun demi perbaikan penulisan buku kedepan-nya.

Surabaya, 27 Mei 2018

Rizki Arvianta

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika .....	5
1.7 Relevansi .....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 High Frequency (HF) .....	7
2.2 Sistem Komunikasi HF .....	8
2.3 Lapisan Ionosfer .....	11
2.4 Efek Ionosfer .....	16
2.5 <i>Maximal Ratio Combining</i> ( MRC ) .....	18
2.6 Teknik <i>Diversity</i> .....	19
2.7 <i>Transmit Diversity</i> ( Skema MISO ) .....	19
2.8 <i>Receive Diversity</i> ( Skema SIMO ) .....	21
2.9 Perhitungan <i>Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio</i> ( $E_b/N_0$ ) .....	22

2.10	BER dengan Modulasi BPSK .....	23
2.11	<i>Cumulative Distributon Function</i> ( CDF ) .....	26
2.12	<i>Antenna Horizontal Dipole</i> .....	27
2.13	<i>Near Vertical Incident Skywave</i> (NVIS) .....	30
2.12.1	Aplikasi NVIS.....	31
2.12.2	Propagasi NVIS .....	32
2.14	<i>Fading</i> .....	33
2.15	<i>Delay Spread</i> .....	34
2.16	<i>Doppler Shift</i> .....	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		35
3.1	Penentuan Parameter Awal .....	35
3.2	Metodologi Penelitian .....	39
3.3	Mendapatkan Nilai Respon Kanal.....	41
3.4	Pengukuran Daya Noise .....	42
3.5	Desain Konfigurasi Antenna .....	43
3.6	Perhitungan SNR dan BER SISO, SIMO, dan MISO .....	45
3.7	Spesifikasi Pengukuran .....	46
3.8	Proses Pengukuran .....	47
BAB 4 ANALISIS HASIL PENGUKURAN .....		49
4.1	Mencari Nilai Respon Kanal .....	49
4.2	Perhitungan <i>Energy per Bit to Noise Ratio</i> ( $E_b/N_0$ ).....	50
4.3	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) .....	51
4.4.1	SNR Link Bandung-Surabaya.....	51
4.4.1.1	<i>SNR SISO Bandung-Surabaya</i> .....	51
4.4.1.2	<i>SNR SISO dan SIMO Bandung-Surabaya</i> .....	53
4.4.1.3	<i>SNR SISO dan MISO Bandung-Surabaya</i> .....	57
4.4.1.4	<i>SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya</i> .....	61

4.4.2	SNR Link Surabaya-Malang .....	63
4.4.2.1	<i>SNR SISO Surabaya-Malang</i> .....	63
4.4.2.2	<i>SNR SISO dan SIMO Surabaya-Malang</i> .....	65
4.4.2.3	<i>SNR SISO dan MISO Surabaya-Malang</i> .....	68
4.4.2.4	<i>SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang</i> .....	72
4.4	Perhitungan <i>Bit Error Rate</i> (BER) .....	74
4.5.1	BER Link Bandung-Surabaya .....	74
4.5.1.1	<i>BER SISO Bandung-Surabaya</i> .....	75
4.5.1.2	<i>BER SISO dan SIMO Bandung-Surabaya</i> .....	76
4.5.1.3	<i>BER SISO dan MISO Bandung-Surabaya</i> .....	80
4.5.1.4	<i>BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya</i> .....	84
4.5.2	BER Link Surabaya-Malang .....	86
4.5.2.1	<i>BER SISO Surabaya-Malang</i> .....	86
4.5.2.2	<i>BER SISO dan SIMO Surabaya-Malang</i> .....	88
4.5.2.3	<i>BER SISO dan MISO Surabaya-Malang</i> .....	92
4.5.2.4	<i>BER SIMO dan MISO Surabaya-Malang</i> .....	96
4.5	Sintesis .....	98
BAB 5 PENUTUP .....		101
5.1	Kesimpulan .....	101
5.2	Saran .....	101
DAFTAR PUSTAKA .....		103
LAMPIRAN .....		105
A.	Lembar Pengesahan .....	105
B.	Script Matlab SNR dan BER .....	106
C.	Link Bandung-Surabaya .....	120
C.1	Hasil Respon Kanal Link Bandung-Surabaya .....	120
C.2	Hasil <i>Energy Bit per Noise Ratio</i> SISO Bandung-Surabaya	138

C.3	Hasil <i>Energy Bit per Noise Ratio</i> SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	142
C.4	Hasil SNR SISO Bandung-Surabaya .....	145
C.5	Hasil CDF SNR SISO Bandung-Surabaya .....	149
C.6	Hasil SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	153
C.7	Hasil CDF SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	157
C.8	Hasil BER SISO Bandung-Surabaya .....	160
C.9	Hasil CDF BER SISO Bandung-Surabaya .....	164
C.10	Hasil BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	168
C.11	Hasil CDF BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	171
D.	Link Surabaya-Malang .....	175
D.1	Hasil Respon Kanal Surabaya-Malang .....	175
D.2	Hasil <i>Energy Bit per Noise Ratio</i> SISO Surabaya-Malang .....	183
D.3	Hasil <i>Energy Bit per Noise Ratio</i> SIMO dan MISO Surabaya-Malang .....	185
D.4	Hasil SNR SISO Surabaya-Malang .....	187
D.5	Hasil CDF SNR SISO Surabaya-Malang .....	189
D.6	Hasil SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang .....	191
D.7	Hasil CDF SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang .....	193
D.8	Hasil BER SISO Surabaya-Malang .....	196
D.9	Hasil CDF BER SISO Surabaya-Malang .....	198
D.10	BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya .....	200
D.11	Hasil CDF BER SIMO dan MISO Surabaya-Malang .....	202
BIOGRAFI .....		205



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Metodologi Penelitian.....	4
<b>Gambar 2. 1</b> Spektrum Frekuensi dan Media Transmisinya.....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Diagram Blok Sistem Komunikasi HF di Transmitter.....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Diagram Blok Sistem Komunikasi HF di Receiver .....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Layer Ionosfer.....	11
<b>Gambar 2. 5</b> Kondisi Lapisan Ionosfer pada Siang hari dan Malam Hari .....	12
<b>Gambar 2. 6</b> Pembelokan Gelombang Radio Karena Efek Peningkatan Frekuensi oleh Lapisan Ionosfer .....	14
<b>Gambar 2. 7</b> Sudut Pantul Terbesar ketika Mengenai Lapisan Ionosfer .....	15
<b>Gambar 2. 8</b> Kerapatan Elektron di Ionosfer .....	16
<b>Gambar 2. 9</b> Refleksi Nyata dari Lapisan Ionosfer .....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Diagram Blok MRC.....	18
<b>Gambar 2. 11</b> Transmit Diversity dengan 2 Antena Pemancar .....	20
<b>Gambar 2. 12</b> Diagram Blok Skema Diversity Alamouti dengan 2 Transmitter dan 1 Receiver .....	20
<b>Gambar 2. 13</b> Receive Diversity dengan 2 Antena Penerima.....	21
<b>Gambar 2. 14</b> Diagram Blok Skema Diversity dengan 1 Transmitter dan 2 Receiver.....	22
<b>Gambar 2. 15</b> Horisontal Dipole di Atas Konduktor Listrik .....	27
<b>Gambar 2. 16</b> Bidang Elevasi ( $\phi = 90^\circ$ ) Pola Amplitudo dari Horisontal Dipole di Atas Konduktor Listrik yang Sempurna ( $\sigma_1 = \infty$ ) dan bumi datar ( $\sigma_1 = 0,01 \text{ S / m}$ , $I_{r1} = 5$ , $f = 1 \text{ GHz}$ ). .....	28
<b>Gambar 2. 17</b> Ilustrasi Pemasangan Antena Secara Orthogonal dalam sistem koordinat bola .....	29
<b>Gambar 2. 18</b> Intersymbol Interference.....	29
<b>Gambar 2. 19</b> Komunikasi Near Vertical Incidence Skywave (NVIS), Gelombang Elektromagnetik Dikirim Hampir Secara Vertikal Menuju Ionosfer. ....	31
<b>Gambar 2. 20</b> Transmisi di Atas Frekuensi Kritis Hasil Ionosfer di 'Skip Zone'.....	32
<b>Gambar 3.1</b> Link Bandung-Surabaya .....	36
<b>Gambar 3.2</b> Link Surabaya-Malang .....	36
<b>Gambar 3.3</b> Bagian Pemancar Sistem Komunikasi HF SIMO .....	37

<b>Gambar 3.4</b> Bagian Penerima Sistem Komunikasi HF SIMO .....	38
<b>Gambar 3.5</b> Bagian Pemancar Sistem Komunikasi HF MISO .....	38
<b>Gambar 3.6</b> Bagian Penerima Sistem Komunikasi HF MISO .....	38
<b>Gambar 3.7</b> Metodologi Penelitian .....	41
<b>Gambar 3.8</b> Proses Pengolahan Data Hasil Pengukuran .....	42
<b>Gambar 3.9</b> Konfigurasi Antena SISO .....	43
<b>Gambar 3.10</b> Konfigurasi Antena SIMO .....	44
<b>Gambar 3.11</b> Konfigurasi Antena MISO .....	44
<b>Gambar 4.1</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya .....	52
<b>Gambar 4.2</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya .....	52
<b>Gambar 4.3</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	53
<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	54
<b>Gambar 4.5</b> Perbandingan SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	55
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	56
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	57
<b>Gambar 4.8</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	58
<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	59
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	60
<b>Gambar 4.11</b> Perbandingan SNR link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	61
<b>Gambar 4.12</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Bandung-Surabaya .....	62
<b>Gambar 4.13</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	63
<b>Gambar 4.14</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	64

<b>Gambar 4.15</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	65
<b>Gambar 4.16</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	66
<b>Gambar 4.17</b> Perbandingan SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 Link Surabaya-Malang.....	67
<b>Gambar 4.18</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	67
<b>Gambar 4.19</b> Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 Link Surabaya-Malang.....	69
<b>Gambar 4.20</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	69
<b>Gambar 4.21</b> Perbandingan SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang.....	71
<b>Gambar 4.22</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	71
<b>Gambar 4.23</b> Perbandingan SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang.....	73
<b>Gambar 4. 24</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang.....	73
<b>Gambar 4.25</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Skema Metode SISO pada Link Bandung-Surabaya .....	75
<b>Gambar 4.26</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Skema Metode SISO pada Link Bandung-Surabaya.....	75
<b>Gambar 4.27</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya.....	77
<b>Gambar 4.28</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	77
<b>Gambar 4.29</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya.....	78
<b>Gambar 4.30</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	79
<b>Gambar 4.31</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya.....	80

<b>Gambar 4.32</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya.....	81
<b>Gambar 4.33</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	82
<b>Gambar 4.34</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya.....	83
<b>Gambar 4.35</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	84
<b>Gambar 4.36</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya.....	85
<b>Gambar 4.37</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	86
<b>Gambar 4.38</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	87
<b>Gambar 4.39</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang.....	88
<b>Gambar 4.40</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	89
<b>Gambar 4.41</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang.....	90
<b>Gambar 4.42</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang.....	91
<b>Gambar 4.43</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang.....	92
<b>Gambar 4.44</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang.....	93
<b>Gambar 4.45</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang.....	94
<b>Gambar 4.46</b> Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	95

**Gambar 4.47** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang ..... 96

**Gambar 4.48** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang ..... 97

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Pembagian Spektrum Frekuensi .....	7
<b>Tabel 3. 1</b> Parameter Pengukuran Sistem Komunikasi HF pada Link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang .....	37
<b>Tabel 3. 2</b> Penamaan Konfigurasi Link dari Skema Metode SISO, SIMO, dan MISO .....	45
<b>Tabel 3. 3</b> Spesifikasi Pengukuran Sistem Komunikasi HF pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang .....	46
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya.....	53
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	55
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	57
<b>Tabel 4. 4</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	59
<b>Tabel 4. 5</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	61
<b>Tabel 4. 6</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	63
<b>Tabel 4. 7</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	64
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	66
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	68
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	70
<b>Tabel 4.11</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	72
<b>Tabel 4.12</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	74
<b>Tabel 4.13</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1 SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya ....	76
<b>Tabel 4.14</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	78

<b>Tabel 4.15</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	80
<b>Tabel 4.16</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya .....	82
<b>Tabel 4.17</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 3, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	84
<b>Tabel 4.18</b> Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya .....	86
<b>Tabel 4.19</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang .....	87
<b>Tabel 4.20</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	89
<b>Tabel 4.21</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	91
<b>Tabel 4.22</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang .....	93
<b>Tabel 4.23</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	95
<b>Tabel 4. 24</b> Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang .....	97



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang paling rawan terhadap bencana di dunia berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Strategi Internasional Pengurangan Risiko Bencana. Tingginya posisi Indonesia ini dihitung dari jumlah manusia yang terancam risiko kehilangan nyawa bila bencana alam terjadi. Menurut Kepala Pusat Data Informasi dan Hubungan Masyarakat Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Indonesia menduduki peringkat tertinggi untuk ancaman bahaya tsunami, tanah longsor, dan gunung berapi. Hampir seluruh wilayah seperti Jawa, Sumatra, Bali bahkan wilayah-wilayah di Timur masuk kategori rawan. Hanya mungkin Kalimantan Tengah dan Barat saja yang relatif bebas dari gempa bumi dan tsunami. Jika dilihat dari faktor alam, tingkat kerawanan bencana alam di Pulau Sumatera lebih tinggi dari Pulau Jawa. Namun bila dilihat dari segi populasi kepadatan penduduk, jelas bahwa tingkat kerawanan bencana alam di Pulau Jawa lebih tinggi dari Pulau Sumatera.

Salah satu efek dari bencana alam adalah beberapa media, perangkat, maupun teknologi telekomunikasi menjadi tidak dapat berfungsi dengan baik dikarenakan infrastruktur telekomunikasi seperti BTS, VSAT, dan sebagainya yang menggunakan teknologi satelit hancur karena bencana alam. Kita tahu bahwa teknologi satelit dapat dimanfaatkan untuk memantau bencana alam, sehingga memudahkan untuk menginformasikan bencana alam tersebar ke sekitar. Namun, teknologi satelit juga mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya mempunyai delay propagasi yang besar, kecilnya kemungkinan pengiriman ulang, dan rentan terhadap pengaruh atmosfer. Sehingga, untuk mengatasi atau mengantisipasi efek dari bencana alam tersebut agar komunikasi tetap berjalan, diperkenalkanlah teknologi *High Frequency* ( HF ). Walaupun *bandwidth* dari HF ini terbatas yaitu sekitar 27 MHz dengan *range* frekuensi dari 3 – 30 MHz, namun teknologi HF berguna untuk komunikasi jarak jauh dengan jarak komunikasinya sekitar 150 sampai ribuan Km di seluruh dunia dengan memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang menuju belahan bumi tanpa menggunakan relay satelit. Link HF mudah dibangun dari jarak lokasi yang jauh untuk mengatasi permasalahan komunikasi dengan mengembalikan fungsi

layanan komunikasi tanpa memerlukan infrastruktur luar seperti BTS, VSAT, dan sebagainya di dalam suatu kawasan bencana, dimana kemungkinan sebagian besar infrastruktur telekomunikasi tersebut hancur saat terjadi bencana. Kemudian, agar informasi yang diterima dapat ditangkap secara maksimum di penerima, maka digunakanlah metode SIMO ( *Single Input Multi Output* ) dengan skema MRC ( *Maximum Ratio Combining* ). Metode SIMO menggunakan 1 antena pemancar dan beberapa antena pada ujung *receiver* yang telah digunakan selama lebih dari beberapa tahun untuk memperbaiki tingkat kesalahan bit atau *Bit Error Rate* (BER), sehingga informasi yang diterima di *receiver* lebih baik kualitasnya. Dan dengan menggunakan skema MRC, dapat membentuk kombinasi yang optimal untuk kanal AWGN ( *Adaptive White Gaussian Noise* ) atau penambahan distribusi normal dari rapat spektral daya yang konstan dan independen dengan metode SIMO. Sehingga, teknologi HF SIMO dengan skema MRC ini dapat menjadi salah satu sistem komunikasi alternatif untuk mengatasi daerah yang rawan bencana.

Oleh karena itu, saya akan melakukan analisis kinerja agar dapat mendeskripsikan elemen-elemen stokastik secara akurat dengan model sistem matematis yang kompleks, memungkinkan estimasi kinerja sistem yang ada dengan beberapa kondisi yang berbeda, serta menampilkan berbagai alternatif perbaikan terhadap kualitas kanal yang akan diterima di *receiver* dengan menggunakan teknologi *High Frequency* (HF) SIMO ( *Single Input Multi Output* ) 1x2 agar kualitas pengiriman informasi yang dikirimkan dari *transmitter* dapat diterima secara maksimum di *receiver* dengan menggunakan skema MRC ( *Maximum Ratio Combining* ).

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan dari Proposal Penelitian ini adalah :

- Bagaimana mendapatkan respon kanal dari hasil pengukuran ?
- Bagaimana konfigurasi SIMO 1x2 pada kanal HF ?
- Bagaimana kinerja sistem komunikasi HF SIMO 1x2 menggunakan skema MRC ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Proposal Penelitian ini adalah:

- Kanal HF yang akan dianalisis adalah hasil pengukuran link antara Surabaya – Malang dan Bandung – Surabaya;
- Pengukuran kanal HF dilakukan dengan menggunakan perangkat *Universal Software Radio Peripherals* (USRP) dan software LabVIEW;
- Konfigurasi yang digunakan dalam analisis adalah SIMO 1x2.

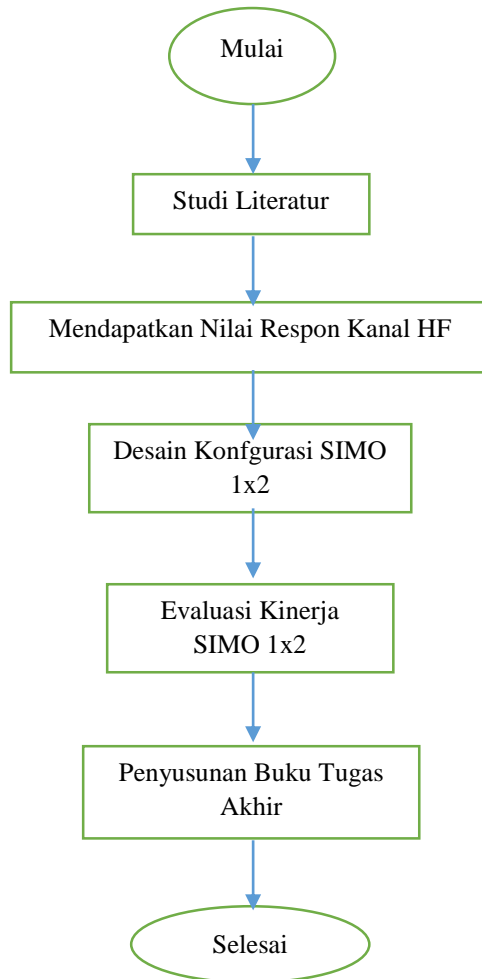
#### **1.4 Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dan Manfaat yang akan saya kerjakan dan dapat dari Penelitian ini, diantaranya:

- Meningkatkan efisiensi dan kualitas antena penerima;
- Merancang program aplikasi untuk mengolah data yang diterima dengan menggunakan program MATLAB dan LabView;
- Mempermudah proses pengiriman informasi dengan lebih efektif dengan menggunakan program dan perangkat yang ada, serta dapat menerima informasi di *receiver* secara maksimum;
- Membuat suatu sistem yang tepat agar informasi dapat diterima secara maksimum sesuai dengan informasi yang dikirimkan.

#### **1.5 Metodologi Penelitian**

Metodologi Penelitian ini telah melalui beberapa tahap seperti yang terdapat pada gambar berikut.



**Gambar 1.1** Metodologi Penelitian

- **Studi Literatur**

Studi literatur digunakan untuk menunjang teori-teori dasar yang mendukung pengerjaan penelitian ini. Sumber literatur yang

didapat untuk mendukung penelitian ini berupa jurnal, paper, dan penelitian terdahulu.

- **Mendapatkan Nilai Respon Kanal HF**

Kemudian, dilakukan pengukuran respon kanal HF pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang. Untuk link Bandung-Surabaya, bagian pemancar berada di atas kantor LAPAN Bandung, sedangkan bagian penerima berada di gedung B Departemen Teknik Elektro ITS. Untuk link Surabaya-Malang, bagian pemancar berada di gedung B Departemen Teknik Elektro ITS, sedangkan bagian penerima berada di atap gedung VEDC, Malang. Data yang didapat dari hasil pengukuran yang berupa nilai IQ rate diolah untuk mendapatkan nilai respon impuls kanal HF.

- **Evaluasi dan Analisis Kinerja SIMO 1x2**

Selanjutnya, data respon impuls kanal tersebut diolah dan digunakan untuk mengevaluasi dan menganalisis kinerja skema metode SIMO 1x2 berupa SNR dan BER.

- **Penyusunan Buku Tugas Akhir**

Semua hasil analisis akan dikumpulkan dan dijadikan satu dalam bentuk sebuah buku tugas akhir.

## 1.6 Sistematika

Penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut.

- **BAB I Pendahuluan**

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, serta relevansi hasil penelitian.

- **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisi tentang teori-teori yang terakit dengan penelitian ini, seperti *High Frequency*, Sistem Komunikasi HF, Atmosfer Bumi, Lapisan dan Efek Ionosfer, Teknik *Diversity*, *Transmit Diversity*, *Receive Diversity*, BER dengan Modulasi BPSK, *Horizontal Dipole Antenna*, *Multipath Fading*, *Delay Spread*, dan *Doppler Shift*.

- **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini membahas hasil pengumpulan data berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan.

- **BAB IV Analisis Hasil Pengukuran dan Simulasi**

Bab ini berisi hasil berupa data pengukuran dan perhitungan, simulasi grafik, serta analisis dari kinerja simulasi yang telah dilakukan.

- **BAB V Penutup**

Bab ini berisi hasil kesimpulan dan saran dari hasil analisis penelitian tugas akhir.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat atau dampak positif sebagai berikut.

- **Bagi Perusahaan Telekomunikasi**

Kinerja kualitas kanal ini bisa digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan dari suatu layanan komunikasi dengan penerapan antena SIMO sebagai peningkatan kualitas data yang diterima.

- **Bagi Masyarakat**

Sebagai teknologi komunikasi alternatif bagi masyarakat pada daerah terpencil maupun daerah yang terkena bencana alam.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 High Frequency (HF)

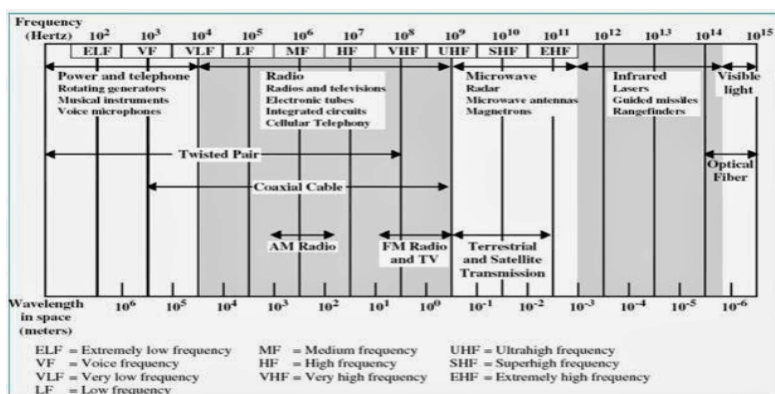
Sebelum penjelasan mengenai *High Frequency* (HF), saya akan menampilkan terlebih dahulu pembagian spektrum frekuensi pada tabel 2.1 sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Pembagian Spektrum Frekuensi

Frekuensi	Lambda	Band
30 – 300 Hz	1000 – 10000 km	ELF
300 – 3000 Hz	100 – 1000 km	SLF
3 – 30 KHz	10 – 100 km	VLF
30 – 300 KHz	1 - 10 km	LF
300 – 30000 KHz	100 m – 1 km	MF
3 – 30 MHz	10 – 100 m	HF
30 – 300 MHz	1 – 10 m	VHF
300 – 3000 MHz	10 cm – 1 m	UHF
3 – 30 GHz	1 – 10 cm	SHF
30 – 300 GHz	1 mm – 1 cm	EHF
300 – 3000 GHz	100 mikro – 1 mm	

Dari tabel 2.1 tersebut, dapat dikatakan bahwa HF mempunyai *range* frekuensi dari 3-30 MHz dengan panjang gelombangnya sekitar 10-100 m yang berguna untuk komunikasi jarak jauh dengan jarak komunikasinya sekitar 150 sampai ribuan Km di seluruh dunia dengan memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang menuju belahan bumi tanpa menggunakan relay satelit. Transmisi ionosfer menyediakan saluran pelemahan yang relatif kecil yang memungkinkan propaganda di seluruh dunia. Sistem HF membutuhkan pemancar, antena sederhana, dan tidak memerlukan eksternal infrastruktur. Link HF dapat dengan mudah dibangun dari jarak lokasi jauh atau tempat bencana alam.

Kemudian, saya akan menampilkan spektrum frekuensi dan media transmisinya dari setiap klasifikasi tingkat frekuensi pada gambar 2.1 sebagai berikut.



**Gambar 2. 1** Spektrum Frekuensi dan Media Transmisinya[1]

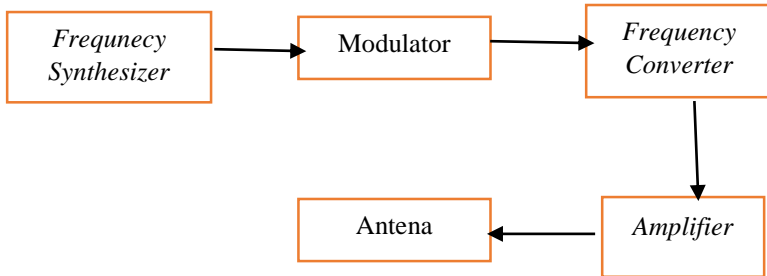
Dilihat dari gambar 2.1, dapat dikatakan bahwa HF dapat memancarkan informasi melalui media radio, tabung elektronik, *integrated circuit*, atau telepon seluler[1]. HF banyak digunakan untuk komunikasi suara dan data oleh militer, diplomatik, aeronautika, kelautan, dan amatir.

## 2.2 Sistem Komunikasi HF

Sistem komunikasi HF terbagi menjadi dua, yaitu sistem komunikasi HF di *transmitter* dan di *receiver*. Daya pemancar yang dikirimkan biasanya sekitar 10 – 100 watt[2]. Di bagian *transmitter* terdiri dari



*frequency synthesizer*, modulator, *frequency converter*, *matching network* atau amplifier, dan antenna pemancar untuk memancarkan informasi yang dapat dibuat blok diagram pada gambar 2.2 sebagai berikut:



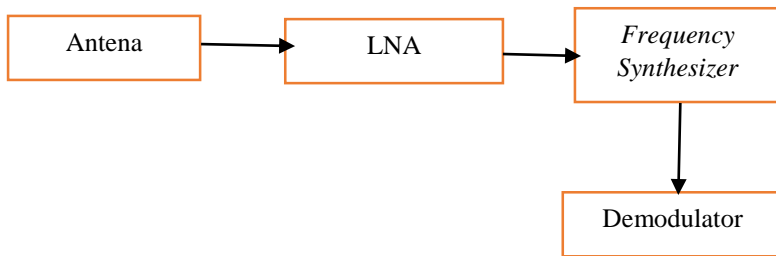
**Gambar 2. 2** Diagram Blok Sistem Komunikasi HF di *Transmitter*[2]

Dimana ,

- *Frequency Synthesizer*, merupakan rangkaian elektronik yang menghasilkan rentang frekuensi dari satu frekuensi referensi tunggal. Frekuensi synthesizer digunakan di banyak perangkat modern seperti penerima radio, televisi, telepon genggam, radio telepon, *walkie talkie*, kotak konverter kabel televisi penerima satelit, dan sistem GPS. *Frequency Synthesizer* dapat menggunakan teknik *Frequency Multiplication*, pembagian frekuensi, sintesis digital langsung, *Frequency Mixing*, dan *phase lock loops* untuk menghasilkan frekuensinya. Kestabilan dan keakuratan output dari *Frequency Synthesizer* tergantung dari stabilitas dan akurasi input frekuensinya.
- Modulator, merupakan suatu rangkaian yang berfungsi melakukan proses modulasi, yaitu proses menumpangkan data pada frekuensi gelombang pembawa (*carrier signal*) ke sinyal informasi/pesan agar bisa dikirim ke penerima melalui media tertentu berupa gelombang sinus.
- *Frequency Converter*, merupakan perangkat elektronik atau elektromekanik yang mengubah arus AC dari satu frekuensi ke arus AC lainnya. *Frequency Converter* juga bisa mengubah tegangan
- Amplifier, merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk menguatkan daya pengiriman agar terjadi *matching network*.

- Antena *Transmitter*, merupakan sebuah antena yang akan memancarkan informasi melalui perangkat radio yang bisa diatur frekuensi, mode, dan daya pancarnya di perangkat radio tersebut.

Penerimaan HF dibatasi oleh *noise* di atmosfer. Oleh karena itu, antena di penerima akan terhubung oleh LNA ( *Low Noise Amplifier* ) untuk menghasilkan impedansi masukan yang tinggi dan bandwidth yang lebar. Di bagian *receiver* terdiri dari antena penerima, LNA, *Frequency Synthesizer*, *Frequency Converter*, dan Demodulator yang dapat dibuat block diagramnya pada gambar 2.3 sebagai berikut.



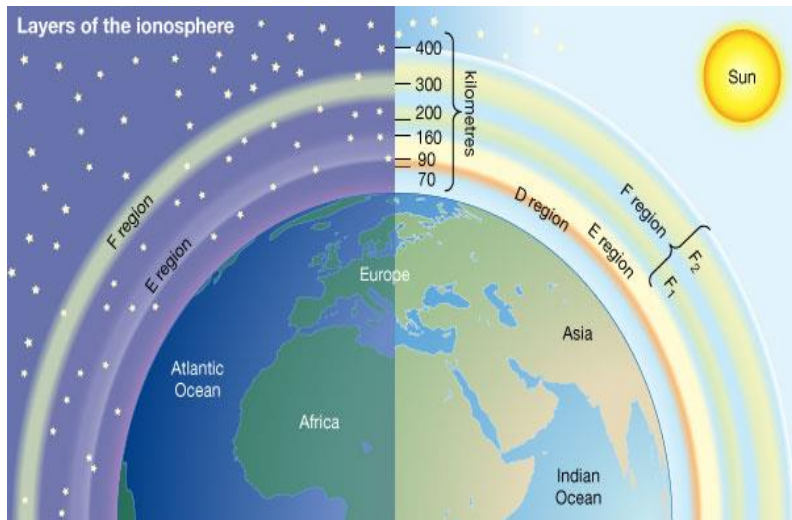
**Gambar 2. 3** Diagram Blok Sistem Komunikasi HF di *Receiver*[2]

Dimana,

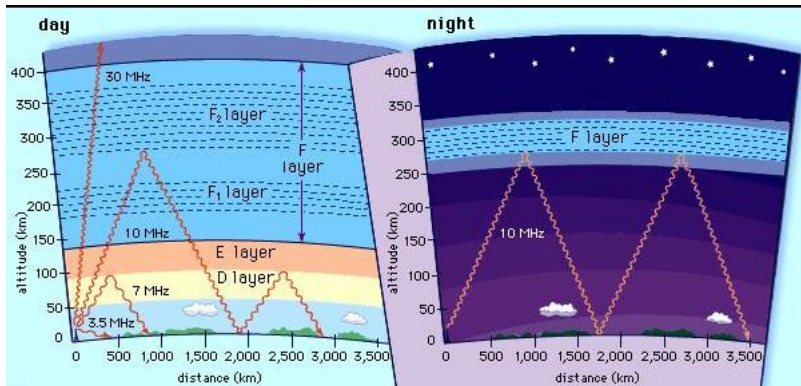
- Antena *Receiver*, merupakan antena yang akan menangkap sinyal informasi yang dipancarkan oleh antena transmitter sesuai dengan frekuensi dan mode yang sudah diatur oleh perangkat radio *transmitter*
- LNA, merupakan perangkat yang berfungsi sebagai *receiver*. LNA mempunyai fungsi untuk menekan *noise* yang terjadi selama transmisi sinyal informasi dari pemancar ke penerima, serta menguatkan sinyal yang diterima oleh antena penerima dengan menggunakan tegangan DC
- Demodulator, merupakan kebalikan dari fungsi modulator, yaitu suatu proses mendapatkan kembali informasi dari sinyal yang diterima dari pemancar.

## 2.3 Lapisan Ionosfer

Lapisan Ionosfer yang dapat dilihat pada gambar 2.4, merupakan lapisan terpenting yang ada di ruang angkasa di atas permukaan bumi dan merupakan wilayah atas atmosfer dimana fluks matahari dan radiasi kosmik telah mengionisasi gas atmosfer. Lapisan Ionosfer sangat bagus untuk medium komunikasi jarak jauh dan medium komunikasi jarak dekat atau titik ke titik (*point to point*). Propagasi HF mempelajari tentang pemanahan bagaimana RF tercermin oleh berbagai lapisan di Ionosfer. Ionosfer bumi adalah bagian dari atmosfer di sekitar planet ini. Ionosfer merupakan kulit elektron dan atom bermuatan listrik dan molekul di sekitar planet kita yang terionisasi oleh radiasi matahari. Situasi ionosfer dipengaruhi oleh radiasi yang dipancarkan oleh matahari, pergerakan bumi terhadap matahari, atau perubahan aktivitas matahari yang mempengaruhi propagasi gelombang radio ke tempat jauh. Ionosfer membuat penyerapan energi sinar matahari memanaskan di atmosfer, serta ionosfer menghasilkan ionisasi dalam bentuk elektron bebas serta ion positif & negatif.



**Gambar 2. 4** Layer Ionosfer[3]



**Gambar 2. 5** Kondisi Lapisan Ionosfer pada Siang hari dan Malam Hari[3]

Dari gambar 2.5 tersebut, Ionosfer memiliki beberapa lapisan yang memiliki karakteristik spesifik masing-masing yang bergantung pada radiasi matahari[4]. Ada 3 lapisan utama yang berdampak pada komunikasi RF, diantaranya :

- *D Region*

Lapisan D memantulkan gelombang frekuensi yang sangat rendah untuk komunikasi jarak jauh dan mempunyai pengaruh yang kecil terhadap frekuensi yang sangat tinggi sehingga tidak dapat terdeteksi di malam hari. Berikut ini merupakan karakteristik lain dari lapisan D, yaitu :

- Menyebabkan redaman pada sinyal RF;
- Lapisan ini terletak di antara ketinggian 50 – 90 Km di atas bumi;
- Lapisan ini melemahkan gelombang radio HF selama siang hari;
- Ionisasi dari lapisan ini sebagian besar tidak ada.

- *E Region*

Lapisan E bergantung pada sudut datang matahari. Lapisan ini menyebar pada gelombang frekuensi yang tinggi pada siang hari untuk frekuensi di atas 20 MHz dan berkurang sangat besar pada malam hari. Karakteristik lain dari lapisan E dapat dilihat sebagai berikut.

- Menyebabkan sinyal radio HF tercermin kembali ke arah bumi
- Lapisan ini terletak di atas lapisan D dan akan memiliki kerapatan maksimum hingga 110 Km.
- Lapisan ini terletak di antara ketinggian 90-140 Km
- Lapisan ini terbentuk oleh sinar UV dari matahari
- Seringkali terjadi dalam kondisi berawan dan ukurannya bervariasi sehingga tidak dapat diprediksi

- *F Region*

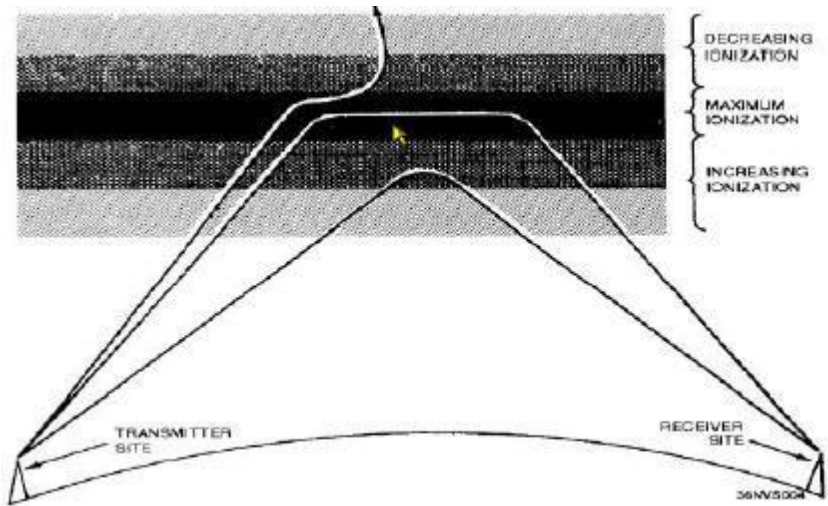
Sebagian besar bentuk propagasi *skywave* menggunakan sifat ionisasi normal pada lapisan ini. Struktur dan kepadatan dari lapisan ini bergantung pada waktu siang hari dan sudut datang matahari. Lapisan ini terdiri dari 2 jenis, yaitu lapisan ganda di siang hari (F1 dan F2) dan lapisan tunggal di malam hari (F). Untuk lapisan F1, maka ciri-ciri nya sebagai berikut :

- Lapisan ini terletak di atas lapisan E dan akan memiliki kerapatan maksimum hingga 220 Km;
- Lapisan ini terletak di antara ketinggian 140-250 km;
- Frekuensi kritis dari lapisan ini sekitar 5-7 MHz;
- Kerapatan elektron bervariasi dari  $2 \times 10^5$  sampai  $4,5 \times 10^5$ ;
- Sebagian besar gelombang HF menembus lapisan F1 dan beberapa-nya tercermin atau terpantulkan oleh lapisan F1;
- Memiliki penyerapan gelombang HF yang lebih banyak;
- Kerapatannya lebih rendah di musim dingin dibandingkan dengan musim panas.

Sedangkan, untuk lapisan F2 mempunyai ciri-ciri sebagai berikut.

- Lapisan ini terletak di atas lapisan F1 dan akan memiliki kepadatan maksimum hingga 250 Km;
- Terletak di antara ketinggian 250-400 Km;
- Frekuensi kritis dari lapisan ini berkisar antara 7-12 MHz;
- Kerapatan elektron bervariasi dari  $3 \times 10^5$  sampai  $2 \times 10^6$ ;

- Lapisan F2 terbentuk karena ionisasi sinar UV, x-ray, dan radiasi lainnya;
- Lapisan ini merupakan lapisan pemantul yang paling penting untuk gelombang radio HF;



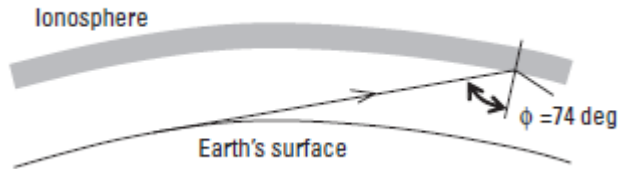
**Gambar 2. 6** Pembelokan Gelombang Radio Karena Efek Peningkatan Frekuensi oleh Lapisan Ionosfer[4]

Dari gambar 2.6 tersebut, bila frekuensi yang digunakan cukup tinggi, maka frekuensi tersebut dapat menembus wilayah E dan akan dipantulkan kembali oleh wilayah F1 (bagian pertama dari wilayah F ionosfer). Kemudian jika dengan frekuensi di wilayah F1 yang lebih tinggi lagi, maka wilayah F1 akan ditembus dan akan dipantulkan kembali oleh F2 (bagian kedua dari wilayah F ionosfer) yang bersifat reflektif. Jarak tempuh maksimum untuk wilayah E berjarak sekitar 1.550 mil dan 2.900 mil untuk wilayah F2.

Sinyal yang dipancarkan bisa naik lebih dari satu kali. Sinyal-sinyal tersebut bisa dipantulkan kembali ke tanah, kemudian dipantulkan kembali ke ionosfer sekali lagi dan kadang beberapa kali lagi. Air mencerminkan sinyal jauh lebih baik dari pada daratan. Permukaan bumi dan lapisan D akan melemahkan kekuatan sinyal.

Elektron mempunyai berat 1.800 kali lebih ringan dari semua partikel terionisasi lainnya di ionosfer, sehingga gerak elektron dapat menentukan sifat dielektrik dari ionosfer di bawah aktivitas medan elektromagnetik.

Karena kelengkungan bumi dan ionosfer, sudut kejadian terbesar terjadi pada sinar di bumi seperti yang terlihat pada gambar 2.8 berikut.



**Gambar 2. 7** Sudut Pantul Terbesar ketika Mengenai Lapisan Ionosfer[5]

Dari gambar 2.7 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai maksimumnya adalah  $= 74^\circ$  untuk kasus model lapisan tipis ionosfer pada ketinggian yang diasumsikan 250 km.

Ketinggian tertinggi yang dicapai oleh gelombang yang tidak menentu adalah titik di mana kerapatan elektron tertinggi dengan sudut *vertical incidence*  $\phi_i = 90^\circ$ . Maka, ini mendefinisikan frekuensi kritis ( $f_c$ ) yang dapat ditentukan melalui persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$f_c = \sqrt{81N_{max}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana  $N_{max}$  adalah jumlah elektron per meter kubik yang terkait dengan frekuensi kritis ( $f_c$ ), yaitu nilai  $N_e$  yang membuat indeks bias ( $n$ ) dari ionosfer sama dengan nol.

*Maximum Usable Frequency* ( MUF ) di luar ionosfer sebagian besar transparan dan kemudian didefinisikan dalam hal sudut kejadian  $\phi_i$  dari sinar pada ionosfer melalui persamaan 2.2 sebagai berikut[5].

$$f_{MUF} = f_c \sec \phi_i \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan menggunakan model lapisan tipis ionosfer dan asumsi tingginya 250 km, sinar tangensial yang terjadi pada ionosfer pada sudut  $74^\circ$ . Ketika  $\phi_i = 74^\circ$ , maka persamaan MUF-nya menjadi :

$$f_{MUF} = 32,7\sqrt{N_{max}} \dots \dots \dots (2.3)$$

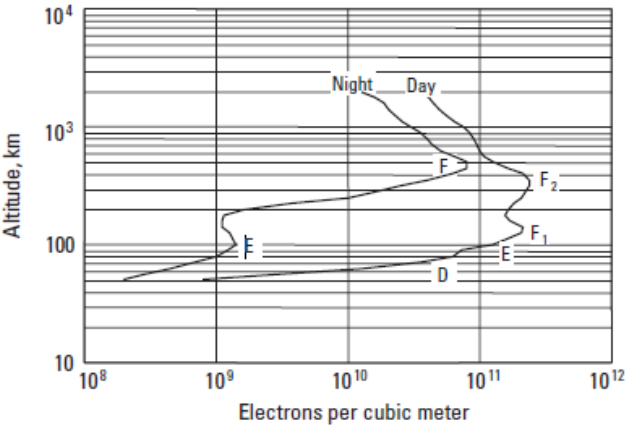
Karena MUF dapat menunjukkan variasi harian, maka biasanya menggunakan frekuensi agak rendah dari perkiraan MUF untuk komunikasi antara dua titik.

**2.4 Efek Ionosfer**

Karena radiasi matahari menembus lebih dalam ke atmosfer bumi pada puncaknya, maka ionosfer meluas paling dekat ke bumi di sekitar khatulistiwa dan lebih kuat di sisi siang hari.

Gelombang radio yang melintas menyebabkan merata ke segala arah. Gelombang terpancar ke depan adalah fase maju oleh radian 90 dan menggabungkannya dengan gelombang aslinya yang menyebabkan gelombang resultan berlanjut lebih lanjut di daerah dengan kepadatan partikel yang bermuatan lebih tinggi.

Parameter kunci yang berkaitan dengan struktur ionosfer terhadap pengaruhnya terhadap komunikasi radio adalah konsentrasi elektron N yang diukur pada elektron bebas per meter kubik. Variasi N versus tinggi di atas bumi untuk siang hari dan malam hari dapat ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut.

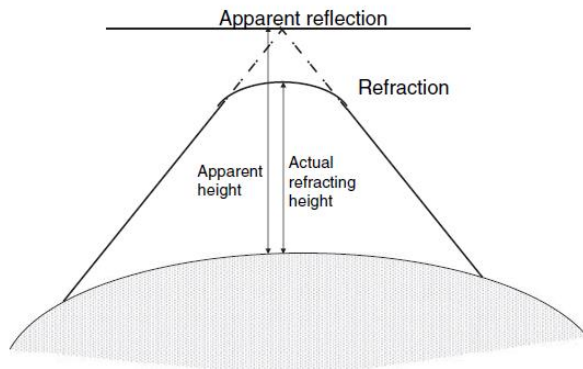


**Gambar 2. 8** Kerapatan Elektron di Ionosfer[6]



Dari gambar 2.8 tersebut, dapat dikatakan bahwa kerapatan elektron bebas yang dihasilkan ( $N_e$ ) berada pada kisaran  $10^9$  sampai  $10^{12}$  elektron per meter kubik. Ionosfer dibatasi pada ketinggian tertinggi oleh gas atmosfer dan pada ketinggian terendah oleh atenuasi atmosfer radiasi yang menyebabkan ionisasi[6]. Atmosfer kering dicampur dengan baik sampai sekitar ketinggian 80 km. Di atas 80 km, ada kepadatan gas terionisasi yang bervariasi dengan ketinggian karena komposisi atmosfer bervariasi sesuai dengan ketinggiannya.

Kandungan elektron ionosfer mengubah indeks bias efektif yang ditemui oleh gelombang yang ditransmisikan dari bumi, mengubah arahnya dengan meningkatkan kecepatan gelombang. Dengan kondisi yang tepat, gelombang mungkin tidak menembus dari bumi dan mungkin tampak terpantul kembali ke bumi walaupun prosesnya sebenarnya adalah pembiasan seperti pada gambar 2.9 berikut.



**Gambar 2. 9** Refleksi Nyata dari Lapisan Ionosfer[6]

Faktor yang mempengaruhi refraksi gelombang radio, diantaranya kepadatan ionisasi lapisan, frekuensi gelombang radio, dan sudut datang gelombang radio menuju lapisan. Indeks bias diatur oleh konsentrasi elektron dan medan magnet medium dan frekuensi dan polarisasi gelombang yang ditransmisikan seperti yang disebutkan sebelumnya. Hal ini menyebabkan beberapa sifat penting untuk menyebarkan gelombang di ionosfer.

Indeks bias berbanding lurus dengan konsentrasi elektron dan berbanding terbalik dengan frekuensi gelombang yang ditransmisikan.

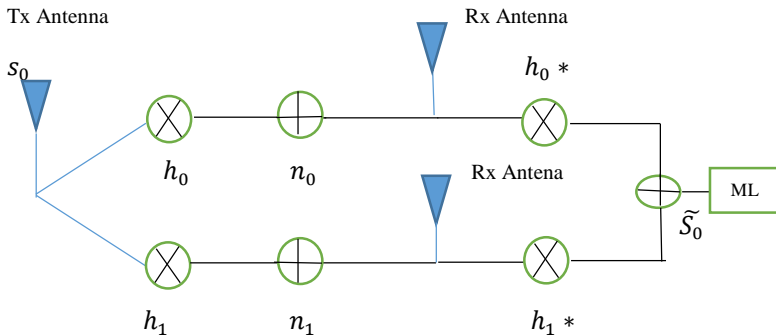
Ada dua jalur sinar yang mungkin tergantung pada pengertian polarisasi yang ditransmisikan gelombang. Kedua sinar tersebut adalah gelombang biasa dan gelombang luar biasa. Gelombang biasa adalah medan vektor medan listriknya sejajar dengan bidang magnet bumi. Sedangkan untuk gelombang yang luar biasa, vektor medan listriknya tegak lurus terhadap vektor medan magnet bumi.

## 2.5 Maximal Ratio Combining ( MRC )

MRC atau bisa disebut Kombinasi Rasio Maksimum merupakan kombinasi optimal untuk kanal AWGN (*Adaptive White Gaussian Noise*) atau penambahan distribusi normal dari rapat spektral daya yang konstan dan independen dengan metode keanekaragaman (*diversity*) yang menggabungkan antara :

- Sinyal dari penjumlahan masing-masing kanal
- *Gain* masing-masing kanal dibuat sebanding dengan tingkat sinyal rms dan berbanding terbalik dengan tingkat *mean square noise* (msn) di kanal tersebut

Hal tersebut juga dikenal sebagai kombinasi rasio kuadrat dan kombinasi pendeteksi. MRC dapat mengembalikan sinyal ke bentuk semula.



**Gambar 2. 10** Diagram Blok MRC[7]

Dari gambar 2.10, Dimana ML merupakan singkatan dari *Maximum Likelihood Detector*,  $n_1$  dan  $n_2$  merupakan *distribussian gaussian noise*. Kinerja ini bisa dicapai dengan menggunakan MRC dengan output SNR di combiner yang dimaksimalkan dengan melalui persamaan berikut[7].

$$SNR_{\Sigma} = \frac{(\alpha^2_0 + \alpha^2_1)E_s}{N_0} \dots \dots \dots (2.4)$$

## 2.6 Teknik Diversity

Teknik *diversity* merupakan suatu teknik dimana sinyal informasi dikirim melalui beberapa lintasan yang berbeda. Hal ini dilakukan agar terbentuk informasi yang akan membantu proses deteksi pada *receiver*. *Diversity* dapat dicapai dengan berbagai cara, diantaranya :

- **Frequency diversity** (keanekeragaman frekuensi),

Teknik ini merupakan teknik yang membedakan frekuensi *carrier* pada saat pengiriman sinyal informasi. *Transmitter* mengirimkan satu sinyal informasi ke *receiver* dengan frekuensi *carrier* yang berbeda-beda. Dengan demikian penerimaan beberapa sinyal informasi yang selanjutnya akan diproses dengan melakukan *combining* untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan..

- **Time diversity** (keanekeragaman waktu)

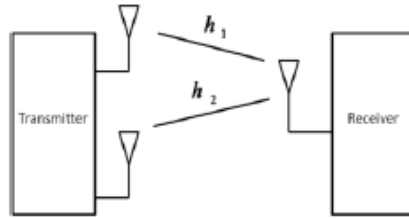
*Time diversity* merupakan salah satu teknik *diversity* dimana satu sinyal informasi dikirim dengan slot waktu yang berbeda dengan pemisahan waktu melebihi koherensi waktu. Teknik ini sangat efisien dalam mengatasi masalah yang disebabkan oleh kanal *fast fading*..

- **Space diversity** (keanekeragaman ruang)

*Space diversity* merupakan salah satu teknik *diversity* yang biasa disebut juga dengan istilah antenna diversity. Disebut demikian karena pada teknik ini, *receiver* memiliki lebih dari satu antena yang terpisah dengan jarak minimal 10 kali panjang gelombang. Karena pada *receiver* terdapat lebih dari satu antena penerima, maka jika salah satu antena menerima sinyal informasi dengan level daya yang rendah, *receiver* masih dapat mendeteksi sinyal informasi tersebut dengan baik. Hal ini dikarenakan masih terdapat kemungkinan bahwa sinyal yang diterima oleh antena yang lain menerima sinyal dengan level daya maupun kapasitas yang lebih tinggi. Semua sinyal yang diterima selanjutnya akan diproses dengan melakukan *combining* untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan.

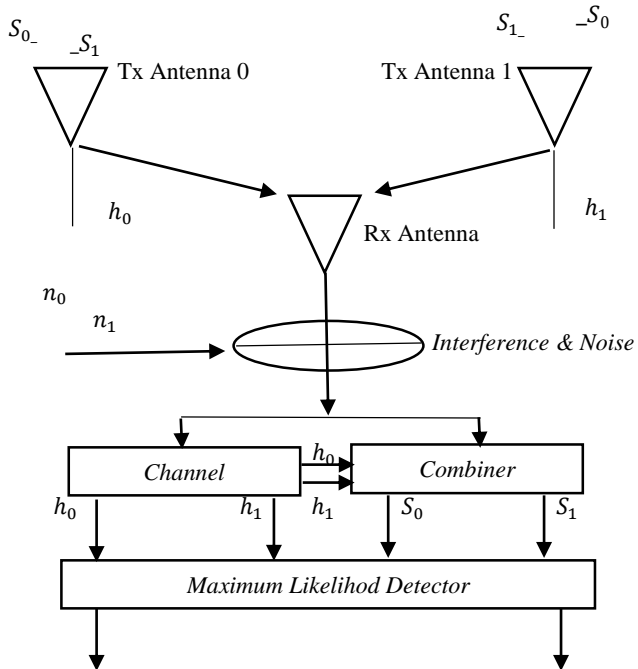
## 2.7 Transmit Diversity ( Skema MISO )

*Transmit diversity* merupakan fenomena modern yang dicapai dengan menggunakan beberapa antena pada *transmitter* seperti pada gambar 2.11 berikut.



**Gambar 2. 11** Transmit Diversity dengan 2 Antena Pemancar[8]

Block diagram skema diversity Alamouti dengan 2 transmitter dan 1 receiver dapat dilihat pada gambar 2.12 sebagai berikut.

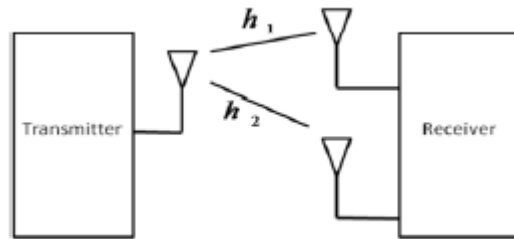


**Gambar 2. 12** Diagram Blok Skema Diversity Alamouti dengan 2 Transmitter dan 1 Receiver[8]

Dimana  $S_0$  dan  $S_1$  merupakan data yang bersifat kompleks, Kemudian,  $r_0$  dan  $r_1$  merupakan distribusi Gaussian. *Maximum likelihood* merupakan detektor pada penerima untuk sinyal yang diterima, dimana  $n_0$  dan  $n_1$  merupakan representasi dari *noise complex* dan *interference*.

## 2.8 Receive Diversity ( Skema SIMO )

*Receive Diversity* dapat dicapai dengan menggunakan beberapa antenna pada *receiver*. Metode penggunaan beberapa antenna pada ujung *receiver* telah digunakan selama lebih dari beberapa tahun untuk memperbaiki tingkat kesalahan bit (BER). Ide dasar dari *receive diversity* adalah memiliki banyak sinyal dengan tingkat fading yang berbeda atau fungsi transfer kanal yang berbeda ( $h$ ). Kemudian, sinyal digabungkan dengan bantuan teknik kombinasi keragaman ( *combining diversity* ) seperti pada gambar 2.13 berikut.



**Gambar 2. 13** *Receive Diversity* dengan 2 Antena Penerima[8]

Noise dan *interference* dimasukkan ke dalam 2 receiver. Hasil penerimaan sinyal *baseband* dan sinyal dapat ditentukan melalui persamaan berikut[9].

$$r_0 = h_0 s_0 + n_0 \dots \dots \dots (2.5)$$

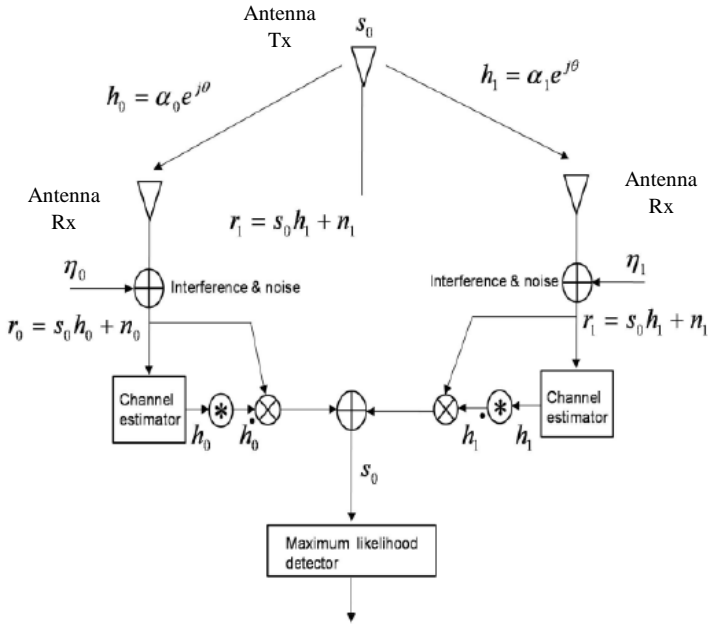
$$r_1 = h_1 s_0 + n_1 \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana,

$$h_0 = \alpha_0 e^{-j\theta_0} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$h_1 = \alpha_1 e^{-j\theta_1} \dots \dots \dots (2.8)$$

*Block diagram* skema *diversity* dengan 1 *transmitter* dan 2 *receiver* dapat dilihat pada gambar 2.14 sebagai berikut.



**Gambar 2. 14** Diagram Blok Skema Diversity dengan 1 Transmitter dan 2 Receiver[8]

## 2.9 Perhitungan *Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio* ( $E_b/N_0$ )

$E_b/N_0$  merupakan salah satu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung SNR dan kinerja *Bit Error Rate* (BER). Sebelum melakukan perhitungan  $E_b/N_0$ , maka harus didapatkan nilai daya penerima dahulu pada bagian penerima. Karena pada penelitian ini menggunakan *combining diversity* baik *transmit* maupun *receive diversity*, maka didapat persamaan daya penerima seperti berikut.

$$\sum Pr = Pr_0 + Pr_1 = (\alpha^2_0 + \alpha^2_1) \times sensitivity \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana  $Pr$  merupakan jumlah daya penerima yang didapat dari *combining diversity* yang digunakan. Sedangkan,  $\alpha$  merupakan magnitud dari suatu respon kanal yang didapat, dan *sensitivity* yang digunakan adalah  $10^{-13}$  w. Pada penelitian ini, pada persamaan 2.4 dan 2.9, nilai 0 dan 1 bisa diganti dengan m dan n, dimana m dan n tidak sama nilainya. Nilai m dan n bisa berupa 11,12,21, dan 22 tergantung *combining diversity* yang digunakan, yang nantinya akan dijelaskan lebih lanjut di subbab 3.5.

Kemudian, dapat dihitung nilai  $E_b/N_0$  nya melalui persamaan berikut.

$$\sum E_b/N_0 = \frac{\sum Pr}{KTRb} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana,  $K$  merupakan Konstanta Boltzmann dengan nilai  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K,  $T$  merupakan temperatur suhu dengan nilai 300 K, serta  $Rb$  merupakan bit rate dengan nilai 75 Kbps[9].

## 2.10 BER dengan Modulasi BPSK

Ukuran kinerja yang penting digunakan untuk membandingkan skema modulasi digital adalah *probability of error* (Pe). Seringkali ini digunakan untuk menentukan kinerja sistem dengan probabilitas kesalahan bit, bahkan ketika digunakan berdasarkan simbol dengan  $M > 2$ [10].

Untuk probabilitas *error bit* (Pb), untuk detektor *error minimum biner*, dapat ditulis hubungan persamaannya sebagai berikut.

$$Pb = \int_{(a1-a2)/2\sigma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = Q\left(\frac{a1-a2}{2\sigma_0}\right) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana  $\sigma_0$  merupakan standar deviasi dari noise yang dihasilkan dari korelator. Fungsi  $Q(x)$  yang disebut fungsi *co-error function*, dapat didefinisikan persamaannya sebagai berikut.

$$Q(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk AWGN, dapat mengganti varians *noise* ( $\sigma^2$ ) yang keluar dari korelator dengan  $N_0/2$ , sehingga kita dapat menulis ulang persamaannya sebagai berikut[11].

$$P_B = \int_{\sqrt{2Eb/N_0}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \dots\dots\dots (2.13)$$

$$p_B = Q\left(\sqrt{\frac{2Eb}{N_0}}\right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Hasil tersebut untuk *bandpass* pensinyalan BPSK. Untuk sistem linear, teorema kesetaraan atau *equivalence theorem* menetapkan bahwa matematika deteksi tidak terpengaruh oleh pergeseran frekuensi.

Dalam sistem BPSK, sinyal yang diterima dapat ditulis sebagai:

$$Y = x + n \dots\dots\dots (2.15)$$

Dalam konstelasi BPSK,  $d_{min}=2A$  dan  $\gamma_b$  sebagai  $E_b/N_0$  dan bisa disebut SNR per bit. Dengan penjelasan tersebut, maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$\gamma_b = \frac{Eb}{N_0} = \frac{A^2}{N_0} = \frac{d^2min}{4N_0} \dots\dots\dots (2.16)$$

Sehingga, *bit error probability* dapat ditulis persamaannya sebagai berikut.

$$P_b = P(n > A) = \int_A^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2/2}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Persamaan 2.15 tersebut bisa disederhanakan dengan *Q-function* sebagai berikut.

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{d^2min}{2N_0}}\right) = Q(\sqrt{2\gamma_b}) \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana *q-function* didefinisikan sebagai :



$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \dots \dots \dots (2.19)$$

Kanal *fading* dapat dianggap sebagai AWGN dengan keuntungan variabel, dengan PDF (*Probability Distribution Function*) yang diberikan. Sehingga, BER rata-rata bisa dihitung melalui rata-rata BER untuk SNR sesaat distribusi SNR dengan persamaan berikut:

$$P_b(E) = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{2g\gamma}) p_{\gamma}(\gamma) d\gamma \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana  $g=1$  untuk bpsk *coherent*. Sekarang, kita menghitung SER dengan rata-rata BER selama distribusi  $h$ . Karena  $h$  adalah kompleks Gaussian, distribusi  $r = |h|^2$  akan menjadi eksponensial dengan persamaan berikut:

$$P_r(r) = \frac{d}{dr} \left( \int_0^{2\pi} \int_0^{\sqrt{r}} \frac{1}{\pi} e^{-x^2} x dx d\theta \right) \dots \dots \dots (2.21)$$

$$P_r(r) = \frac{d}{dr} (1 - e^{-r}) \dots \dots \dots (2.22)$$

$$P_r(r) = e^{-r} U(r) \dots \dots \dots (2.23)$$

Karena distribusi signal to noise *ratio*  $\gamma = |h|^2 \gamma_b$ , maka persamaannya akan menjadi :

$$P_{\gamma}(\gamma) = \frac{1}{\gamma_b} e^{-\gamma/\gamma_b} \dots \dots \dots (2.24)$$

Sehingga, *error probability* bisa dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_b = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma}) P_{\gamma}(\gamma) d\gamma = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma}) \frac{1}{\gamma_b} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_b}} d\gamma \dots \dots \dots (2.25)$$

Dari persamaan 2.23, integralnya bisa dikalkulasikan menjadi persamaan berikut[12].

$$Q(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sin^2\theta}\right) d\theta \dots \dots \dots (2.26)$$

$$Pb = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\gamma_b}{1 + \gamma_b}} \right) \dots \dots \dots (2.27)$$

## 2.11 Cumulative Distributon Function ( CDF )

*Cumulative distributive function* atau fungsi distribusi kumulatif dari variabel acak merupakan suatu metode untuk mendeskripsikan distribusi variabel acak melalui persamaan umum berikut.

$$F(x) = P(X \leq x) \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana  $F(x)$  terdiri dari semua kemungkinan kurang dari atau sama dengan  $x$ . Kelebihan dengan menggunakan metode CDF adalah bahwa CDF dapat digunakan untuk jenis variabel acak diskrit, variabel acak kontinyu, dan variabel acak campuran.

Secara umum, asumsikan  $X$  digunakan untuk variabel acak diskrit dengan *range*  $R_X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ , dengan  $x_1 < x_2 < x_3 < \dots$ , dimana  $x_1$  merupakan nilai terkecil dalam rentang  $R_X$ .

Metode CDF dimulai dengan nilai *probability* 0 atau bisa ditulis dengan  $F_X(-\infty) = 0$ . Setelah itu, berlanjut pada setiap titik nilai dalam rentang tersebut. Secara khusus, nilai CDF tetap datar antara  $x_k$  dan  $x_{k+1}$ , sehingga kita dapat menulis persamaannya sebagai berikut.

$$F_X(x) = F_X(x_k), \text{ untuk } x_k \leq x < x_{k+1} \dots \dots \dots (2.29)$$

CDF berlanjut di tiap nilai  $x_k$ , sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$F_X(x_k) - F_X(x_k - \epsilon) = P_X(x_k), \text{ untuk } \epsilon > 0 \dots \dots \dots (2.30)$$

Sehingga, CDF dapat dikatakan fungsi yang relatif naik terus sampai ke nilai *probability* 1 ketika  $x$  atau SNR dan BER dalam kasus ini semakin besar nilainya, dengan dapat menulis persamaan berikut[13].

$$\lim_{x \rightarrow \infty} F_X(x) = 1 \dots \dots \dots (2.31)$$

Secara ringkas, dapat dikatakan bahwa dalam kasus ini, metode CDF mengurutkan nilai terkecil sampai nilai terbesar SNR dan BER dari nilai *probability* 0 sampai 1. Selain itu, kita dapat mencari nilai rata-rata dan standar deviasi SNR dan BER untuk mengetahui perbandingan

peningkatan dan penurunan nilai skema metode SISO, SIMO, dan MISO, dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Rata-rata SNR} = \overline{SNR} = \sum_{i=1}^n \frac{SNR_i}{n} \dots \dots \dots (2.32)$$

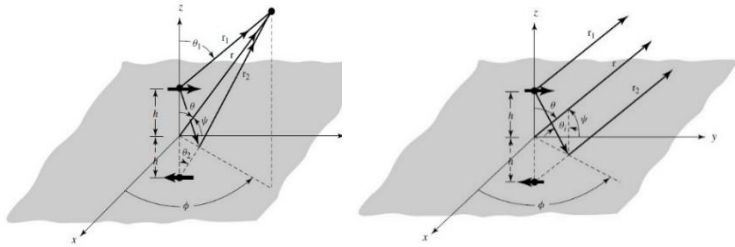
$$\text{Rata-rata BER} = \overline{BER} = \sum_{i=1}^n \frac{BER_i}{n} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$\text{Standar deviasi SNR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \overline{SNR})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\text{Standar deviasi BER} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \overline{BER})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana, n merupakan jumlah indeks sampel dimana link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel dan link Surabaya-Malang sebanyak 57 indeks sampel.

## 2.12 Antenna Horizontal Dipole

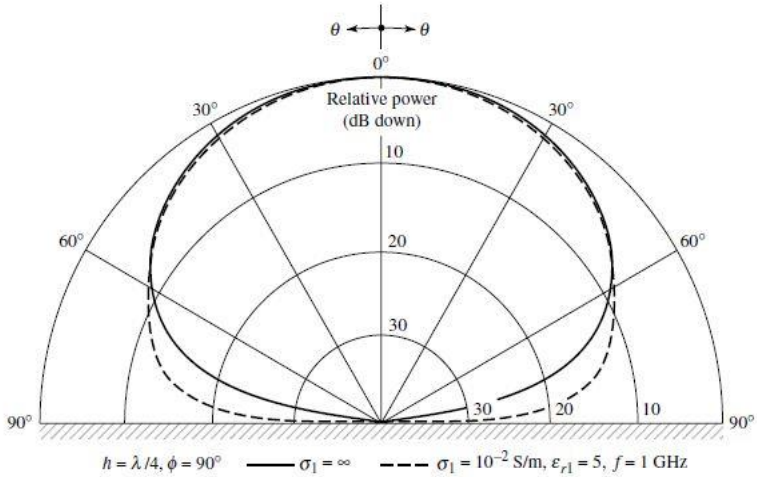


**Gambar 2. 15** Horisontal Dipole di Atas Konduktor Listrik[14]

Berdasarkan pada gambar 2.15 tersebut, koefisien refleksi untuk polarisasi tegak lurus dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$R_{\perp} = \frac{\eta_1 \cos \theta_i - \eta_0 \cos \theta_t}{\eta_1 \cos \theta_i + \eta_0 \cos \theta_t} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana  $R_{\perp}$  adalah koefisien refleksi, sedangkan Sudut  $\theta_i$  dan  $\theta_t$  terkait dengan hukum pembiasan Snell atau biasa disebut 'snell's law'[14].

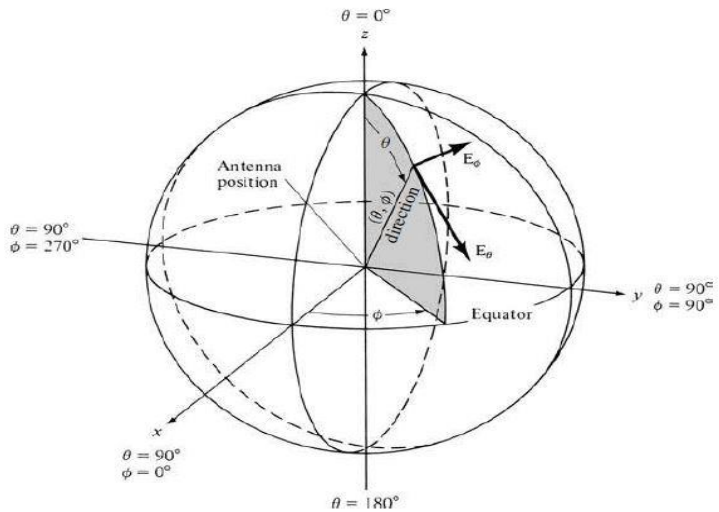


**Gambar 2. 16** Bidang Elevasi ( $\varphi = 90^\circ$ ) Pola Amplitudo dari Horizontal Dipole di Atas Konduktor Listrik yang Sempurna ( $\sigma_1 = \infty$ ) dan bumi datar ( $\sigma_1 = 0,01 \text{ S / m}$ ,  $\epsilon_{r1} = 5$ ,  $f = 1 \text{ GHz}$ ).[14]

Dari gambar 2.16, Faktor divergensi dapat dimasukkan dalam formulasi bidang yang dipancarkan oleh horizontal dipole, di hadapan bumi, maka persamaan faktor divergensi dapat ditulis melalui persamaan berikut[15].

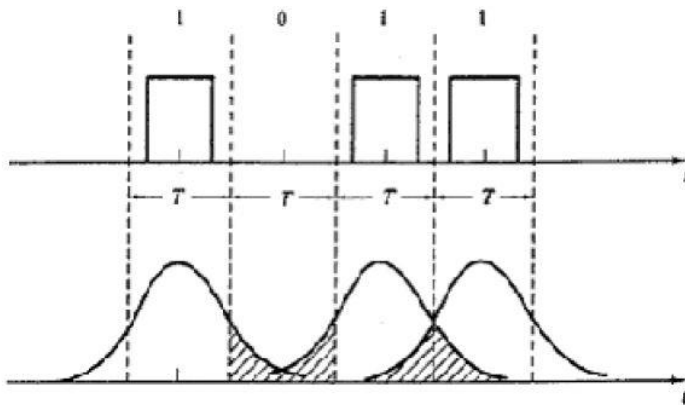
$$E_\theta = j\eta \frac{KI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta [e^{jkh \cos\theta} + DR_v e^{-jkh \cos\theta}] \dots \dots \dots (2.37)$$

Pada penelitian ini, antenna akan dipasang secara orthogonal. Polarisasi gelombang yang masuk bersifat ortogonal terhadap polarisasi antenna horizon dipole, sehingga tidak akan ada daya yang diekstrak oleh antenna dari gelombang yang masuk, dan nilai PLF atau Power Loss Factor akan menjadi nol atau  $-\infty \text{ dB}$  dimana PLF ini menentukan keefisienan dari kinerja suatu antenna[14]. Ilustrasi gambar pemasangan antenna secara orthogonal dapat dilihat pada gambar 2.17 berikut.



**Gambar 2. 17** Ilustrasi Pemasangan Antena Secara Orthogonal dalam sistem koordinat bola[16]

Antena dipasang secara orthoonal agar menghindari ISI atau *intersymbol interference* seperti ilustrasi gambar berikut.



**Gambar 2. 18** Intersymbol Interference[17]

Antena horizontal dipole akan bekerja secara optimal dengan *bandwidth* yang sempit, dan dapat memancarkan polarisasi melingkar dan medan listrik dengan metode orthogonal tersebut

### **2.13    *Near Vertical Incident Skywave (NVIS)***

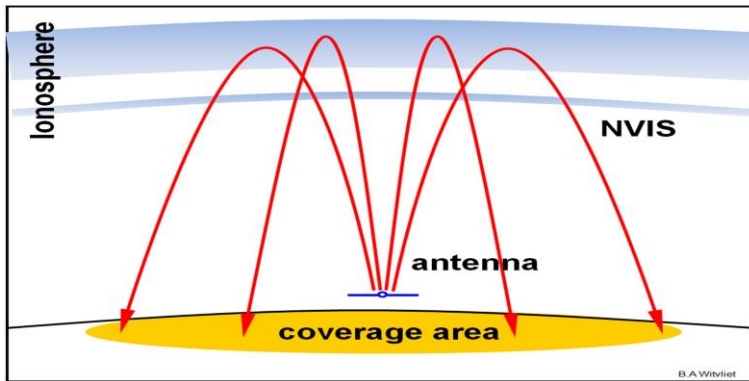
Propagasi mekanisme *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) terjadi ketika frekuensi dipilih dengan tepat, biasanya antara 3 dan 10 MHz. Gelombang radio yang dikirim ke arah ionosfer pada sudut tinggi dipantulkan pada ketinggian antara 80 dan 350 km untuk mendarat di area yang luas di sekitar pemancar. Antena harus memusatkan daya pancar ke atas pada sudut elevasi yang tinggi, sekitar (70-90) °.

karena sudut elevasi yang curam tersebut, objek besar seperti lereng gunung atau bangunan tinggi tidak dapat memblokir jalur radio[19]. Propagasi NVIS dapat digunakan untuk menutupi area dengan radius 200 km menggunakan daya rendah dan antena sederhana. NVIS akan menyediakan cakupan atau coverage bahkan di lembah yang dalam. Ini juga akan bekerja dalam hujan deras yang khas setelah siklon tropis, sehingga redaman hujan pada frekuensi ini dapat diabaikan.

Propagasi *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) dapat digunakan untuk komunikasi radio di area yang luas (400x400 km) tanpa infrastruktur buatan manusia. Oleh karena itu, sangat cocok untuk komunikasi bantuan bencana, komunikasi di daerah berkembang dan aplikasi di mana infrastruktur lokal yang diinginkan, seperti aplikasi militer.

Mekanisme propagasi NVIS memungkinkan komunikasi di area yang luas tanpa memerlukan infrastruktur jaringan, satelit, atau repeater. Kemandirian infrastruktur lokal ini sangat penting untuk komunikasi bantuan bencana, ketika infrastruktur dihancurkan oleh bencana alam berskala besar, atau di daerah terpencil di mana infrastrukturnya kurang.

Untuk propagasi NVIS, gelombang elektromagnetik dikirim hampir secara vertikal ke arah ionosfer, bagian atas atmosfer Bumi yang terionisasi. Dengan pemilihan frekuensi yang sesuai, gelombang ini dipantulkan kembali ke Bumi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19 berikut ini.



**Gambar 2. 19** Komunikasi *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS), Gelombang Elektromagnetik Dikirim Hampir Secara Vertikal Menuju Ionosfer.[19]

### 2.12.1 Aplikasi NVIS

Komunikasi NVIS selalu tetap penting sebagai salah satu alternatif dalam komunikasi militer. Namun, peningkatan teknologi baru-baru ini telah meningkatkan minat. Sistem modulasi dikembangkan yang dioptimalkan untuk kanal ionosfer untuk meningkatkan throughput data, dan protokol *Automatic Link Establishment* (ALE), memungkinkan integrasi tautan NVIS dalam jaringan komunikasi heterogen.

NVIS sebagai salah satu alternatif komunikasi, dan efektivitasnya telah ditingkatkan dengan sistem modulasi yang dioptimalkan untuk kanal ionosfer, *Automatic Link Establishment* (ALE) dan protokol jaringan. Komunikasi radio HF menggunakan NVIS dan propagasi ionosfer jarak jauh yang masih dianggap sebagai tulang punggung komunikasi kapal Angkatan Laut, dan juga digunakan untuk telemetri pada penerbangan komersial jarak jauh.

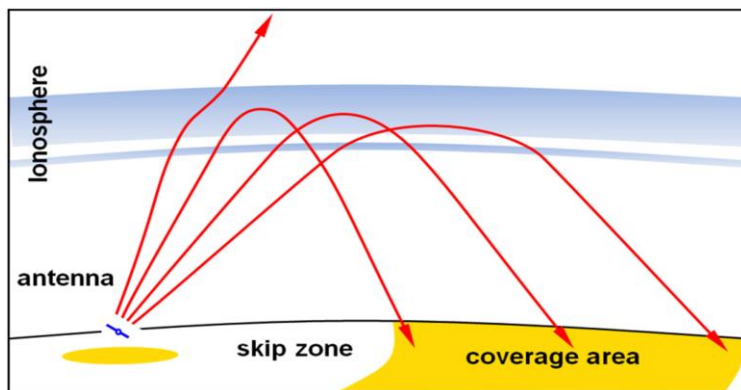
Komunikasi NVIS telah terbukti sebagai alternatif yang sangat baik untuk responden pertama dalam beberapa bencana alam besar baru-baru ini, seperti Tsunami Lautan India pada tahun 2004 dan banjir di New Orleans setelah Badai Katrina pada tahun 2005.

Dalam proyek-proyek kemanusiaan, propagasi NVIS dapat menyediakan komunikasi dengan biaya rendah di daerah-daerah terpencil. Banyak kemajuan yang telah dibuat dalam menghubungkan dunia untuk berkembang.

Pelayar yang berlayar di laut sering juga menggunakan modem digital dan transceiver radio HF untuk meneruskan pesan teks dan mendapatkan peta cuaca. Gelombang menengah dan penyiaran gelombang pendek di zona tropis sering mengeksploitasi propagasi NVIS. Ketika berlayar lebih dekat ke pantai ( $<200$  km), mekanisme propagasi yang terlibat adalah NVIS.

### 2.12.2 Propagasi NVIS

Gelombang elektromagnetik yang memasuki ionosfer dapat dibiaskan kembali ke Bumi, tergantung pada operasi frekuensi. Gelombang yang berjalan secara vertikal akan dipantulkan oleh salah satu lapisan ketika frekuensi operasinya lebih rendah daripada frekuensi kritis dari lapisan itu. Gelombang radio dengan frekuensi di atas frekuensi kritis akan melewati lapisan pada insiden vertikal, tetapi akan dipantulkan pada sudut elevasi yang lebih rendah, sehingga menghasilkan cakupan mulai pada jarak tertentu dari pemancar, dan zona melingkar di sekitar transmitter tanpa cakupan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.20 berikut ini.



**Gambar 2. 20** Transmisi di Atas Frekuensi Kritis Hasil Ionosfer di 'Skip Zone'. [19]

Untuk merealisasikan area cakupan secara langsung di sekitar pemancar tanpa suatu *Skip Zone*, operasi frekuensi harus tetap di bawah frekuensi kritis dari lapisan yang digunakan. Baik layer E dan F2 dapat



digunakan untuk NVIS. Sehingga, absorpsi menjadi lebih rendah pada frekuensi yang lebih tinggi, dan akan lebih banyak energi efisien.

## 2.14 *Fading*

*Fading* merupakan penurunan fluktuasi daya gelombang radio di penerima dan karakteristik utama dalam propagasi radio bergerak. *fading* berkaitan dengan mekanisme propagasi yang melibatkan refraksi, refleksi, difraksi, hamburan dan redaman dari gelombang radio. *Fading* disebabkan karena perubahan kondisi kanal propagasi selama terjadinya komunikasi dan penjumlahan gelombang medan yang melewati lintasan yang berbeda-beda sehingga mengalami respon kanal yang berbeda dalam hal amplitudo dan fasenya. Pada sistem komunikasi nirkabel terdapat dua macam fading yaitu *short term fading* dan *long term fading*[20].

*Short term fading* sebagian besar disebabkan oleh pantulan multipath suatu gelombang transmisi oleh penghambur lokal seperti rumah-rumah, gedung-gedung dan halangan lain seperti pepohonan yang terletak diantara lokasi pemancar dan penerima. Sedangkan, *long term fading* menggunakan gradien untuk mengukur daya rata-rata dan sinyal yang diterima dalam jarak tertentu. Pada *receiver*, variasi sinyalnya lebar sehingga kita harus merancang sedemikian rupa supaya sinyalnya bisa ditrack. Jika probabilitas di bawah rata-rata, maka dibiarkan saja.

Pada komunikasi RF, fading terbagi menjadi dua yaitu *fast fading* dan *slow fading*. *Fast Fading* merupakan fading berfluktuasi dengan cepat, dianalisis secara stokastik dan memberikan suatu model kanal yang berubah terhadap waktu. *Fast fading* terjadi jika frekuensi Doppler lebih besar dibandingkan *bandwidth* kanal. Pada kanal *fast fading* akan timbul distorsi pada sinyal yang diterima karena *gain* kanal tidak tetap selama periode simbol. Pada *fast fading*, distorsi simbol membuat simbol menjadi tidak sinkron dan menyebabkan penurunan SNR. Penurunan SNR pada *fast fading* juga disebabkan oleh fluktuasi sinyal. Sedangkan, *slow fading* merupakan fading berfluktuasi dengan lambat, dianalisis secara stokastik dikaitkan dengan *pathloss* dan memberikan suatu model kanal yang berubah terhadap waktu. *Slow fading* terjadi jika frekuensi Doppler lebih kecil dibandingkan *bandwidth* kanal. *Slow fading* mempunyai *gain* kanal yang memiliki rata-rata yang konstant. Akan tetapi, pada *slow fading* terjadi penurunan SNR akibat

fluktuasi sinyal untuk beberapa simbol. Teknik untuk mengatasi fading diantaranya memberikan *fading margin*.

### **2.15    *Delay Spread***

*Delay Spread* merupakan penyebaran impuls yang dikirimkan oleh pemancar yang akan diterima oleh penerima yang bukan lagi sebuah impuls melainkan sebuah pulsa dengan lebar penyebaran. *Delay spread* dapat menimbulkan ISI (*intresymbol interference*). *Delay Spread* membatasi kecepatan transmisi bit atau simbol pada sistem komunikasi bergerak digital.

### **2.16    *Doppler Shift***

*Doppler Shift* merupakan perubahan frekuensi atau pergeseran frekuensi radio yang disebabkan oleh gerakan obyek di receiver. Pergeseran frekuensi ini tergantung pada kecepatan dan arah gerak MS yang akan menyebabkan modulasi frekuensi acak pada sinyal radio bergerak. *Doppler Shift* menyebabkan penurunan kualitas suara atau audio. Pergeseran Doppler dipengaruhi propagasi lintasan jamak yang dapat memberikan pergeseran positif atau negatif pada saat yang sama untuk lintasan yang berbeda.

## **BAB 3**

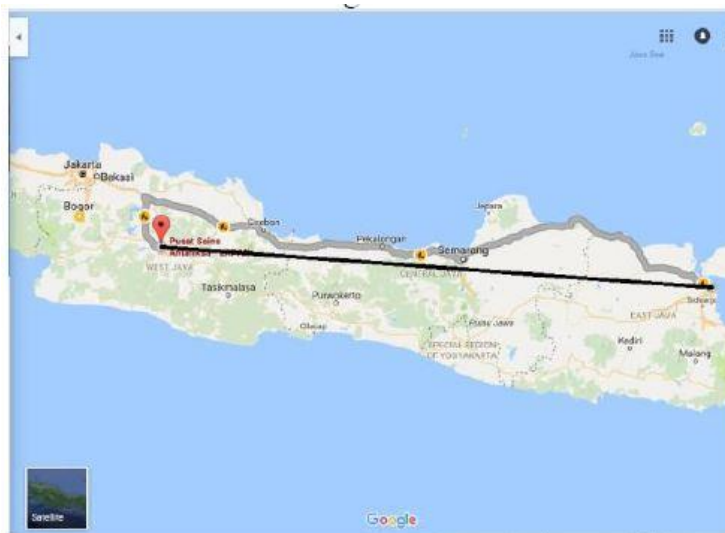
### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hal-hal yang berkaitan dengan proses pengukuran yang digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan dalam penelitian akhir ini, seperti SNR dan BER.

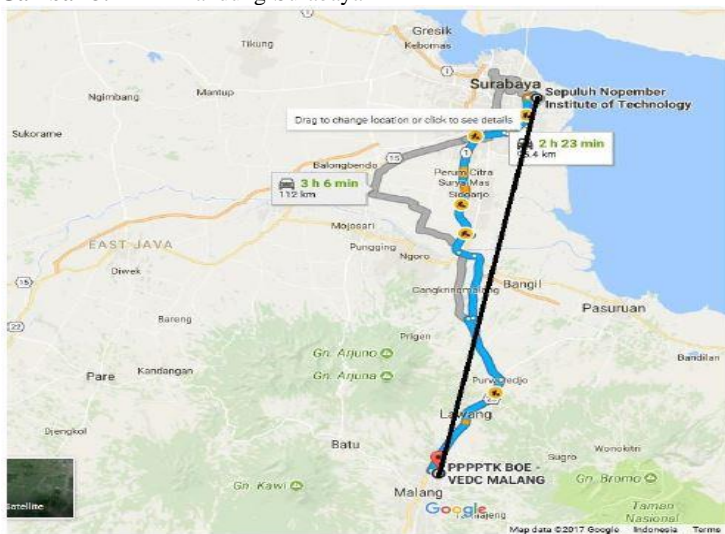
#### **3.1 Penentuan Parameter Awal**

Penentuan parameter awal diperlukan untuk memenuhi kriteria pengukuran yang diinginkan, diantaranya untuk mendapatkan nilai SNR dan BER. Metode SIMO 1x2 menggunakan 1 antenna pengirim dan 2 antenna penerima. Sedangkan, metode MISO 2x1 menggunakan 2 antenna pengirim dan 1 antenna penerima. Antena yang digunakan yaitu antena horizontal dipole baik di bagian pengirim dan penerima. Antena yang digunakan adalah antena tipe ICOM MN100. Antena yang dipasang saling berdekatan satu dengan yang lainnya pada sisi pengirim maupun penerima dengan sudut antar antena sebesar 90 (*degree*) atau saling *orthogonal*. Ini dilakukan agar tidak terjadi interferensi atau *Intersymbol Interference* antar antena pada saat sinyal maupun data informasi dikirim nantinya ke penerima.

Link sistem komunikasi HF diimplementasikan baik di pemancar maupun penerima. Pada link Surabaya-Malang, sisi pemancar berada di Laboratorium B306 Antenna dan Propagasi Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan letak koordinat 7°17'5.81"LS dan 112°47'46.68"BT. Sedangkan, receiver untuk kota Malang ditempatkan di gedung Departemen Teknologi Informasi PPPPTK VEDC Arjosari Malang dengan koordinat 7°56'4.42"LS dan 112°39'46.73"BT yang berjarak sekitar 75 Km dari Surabaya. Untuk link Bandung-Surabaya, bagian pemancar ditempatkan di kantor Pusat Sains dan Teknologi Antariksa Lapan Bandung dengan koordinat 6°53'39.26"LS dan 107°35'12.59"BT yang berjarak sekitar 575 Km dengan Surabaya sebagai bagian penerima. Untuk ilustrasi link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang dapat dilihat di gambar 3.1 dan 3.2 berikut.



**Gambar 3.1** Link Bandung-Surabaya



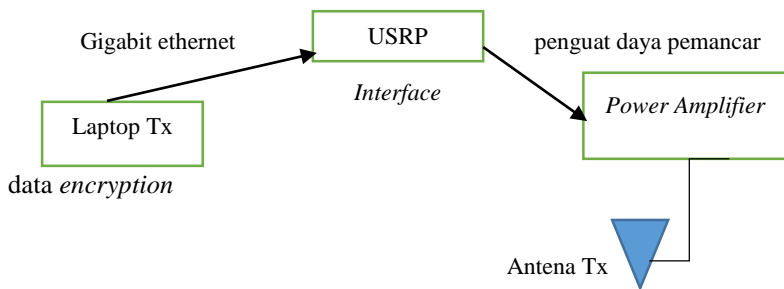
**Gambar 3.2** Link Surabaya-Malang

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat parameter pengukuran pada 2 link tersebut dalam bentuk tabel 3.1 berikut.

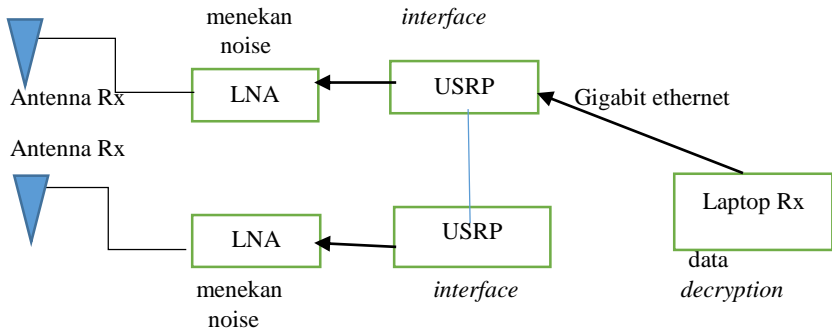
**Tabel 3. 1** Parameter Pengukuran Sistem Komunikasi HF pada Link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang

Link	Jumlah Bit	Jarak	Frekuensi	Daya Pancar	Sinyal
Bandung-Surabaya	$10^6$	575 Km	5,7 dan 10 MHz	20 watt	Tone
Surabaya-Malang	$10^6$	75 Km	7 MHz	20 watt	Tone

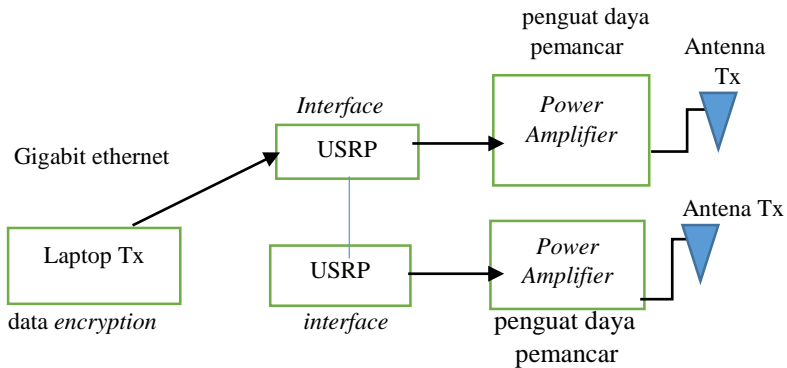
Pada sistem komunikasi HF ini, terdapat bagian subsistem pemancar dan subsistem penerima baik pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang. Ilustrasi pada bagian pemancar dan penerima baik pada skema SIMO dan MISO dapat dilihat pada gambar 3.3-3.6 berikut.



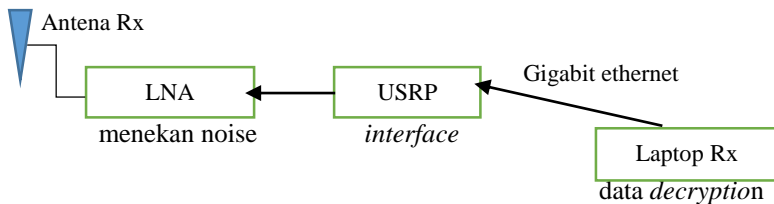
**Gambar 3.3** Bagian Pemancar Sistem Komunikasi HF SISO



**Gambar 3.4** Bagian Penerima Sistem Komunikasi HF SIMO



**Gambar 3.5** Bagian Pemancar Sistem Komunikasi HF MISO



**Gambar 3.6** Bagian Penerima Sistem Komunikasi HF MISO

Dari gambar-gambar 3.3-3.6 tersebut, baik pada skema SIMO maupun skema MISO, dimana pada bagian pemancar, laptop Tx berfungsi sebagai data *ecryption*, yaitu untuk mengirimkan data-data informasi baik berupa audio maupun teks dengan kondisi rahasia dan aman agar data-data informasi tersebut terlindungi. Laptop Tx berfungsi juga untuk mengendalikan USRP melalui kabel gigabit ethernet. Kemudian, USRP pada bagian pemancar berfungsi sebagai interface untuk mengirimkan sinyal FM maupun suara dan teks.

Sedangkan, pada bagian penerima, LNA berfungsi untuk menekan noise selama pengiriman sinyal informasi terjadi dari *transmitter* ke *receiver*, sekaligus menguatkan sinyal yang diterima oleh antenna *receiver*. Kemudian, USRP pada bagian penerima berfungsi sebagai interface untuk menerima sinyal FM maupun suara dan teks, serta dikenadalkan oleh laptop Rx. Dan, laptop Rx berfungsi sebagai data *decryption*, yaitu untuk mengembalikan data-data informasi dengan kondisi rahasia tersebut kembali ke bentuk aslinya.

USRP yang dihubungkan dengan USRP lainnya melalui kabel baik pada sisi penerima SIMO maupun sisi pemancar MISO, bertujuan agar USRP yang tidak terhubung dengan kabel gigabit ethernet dapat dikendalikan secara bersamaan.

### 3.2 Metodologi Penelitian

Berikut ini merupakan langkah-langkah pengerjaan penelitian, diantaranya :

- **Mendapatkan Data Respon Kanal pada Link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang**

Data hasil pengukuran baik dari link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang yang telah dicapture dan mendapatkan nilai IQ yang akan diolah untuk mendapatkan nilai respon kanal  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ , dan  $h_{22}$ . Dari nilai respon kanal tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai selanjutnya yang diinginkan, seperti SNR dan BER.

- **Desain Konfigurasi Antena**

Untuk menggunakan data respon kanal  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ , dan  $h_{22}$ , maka diperlukan konfigurasi 39ntenna pada saat pengolahan data. Konfigurasi ini dapat membedakan skema SISO, SIMO, dan MISO, dimana dalam 3 konfigurasi 39ntenna tersebut mempunyai 8 kemungkinan yang hasilnya dapat berbeda.

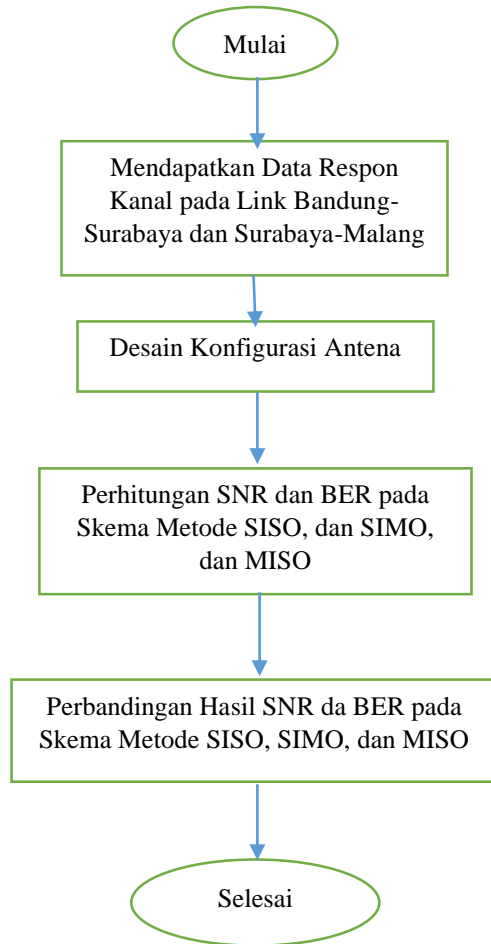
- **Perhitungan SNR dan BER pada Skema Metode SISO, SIMO, dan MISO**

Perhitungan SNR dan BER pada skema metode SISO, SIMO, dan MISO dilakukan setelah melakukan konfigurasi 40 antenna pada bagian pengirim dan penerima. Untuk konfigurasi SISO menghasilkan 4 kemungkinan, sedangkan SIMO dan MISO masing-masing menghasilkan 4 kemungkinan. Sehingga, secara keseluruhan akan menampilkan 8 konfigurasi dengan 8 SNR dan BER yang berbeda.

- **Perbandingan Hasil SNR dan BER pada Skema Metode SISO, SIMO, dan MISO**

Setelah mendapatkan nilai SNR dan BER pada masing-masing konfigurasi, nilai tersebut akan dibandingkan dengan setiap konfigurasi baik pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang pada, sehingga akan dianalisis dan dibuat kesimpulan nantinya.

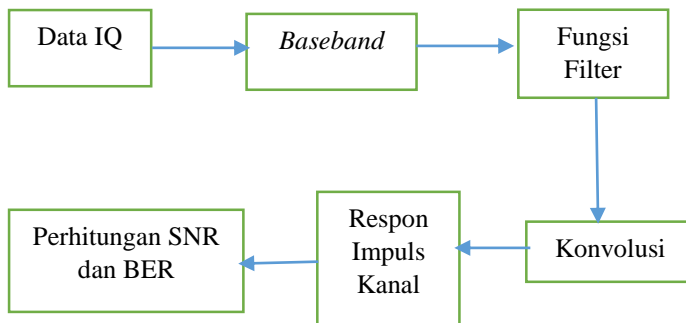




**Gambar 3.7** Metodologi Penelitian

### **3.3 Mendapatkan Nilai Respon Kanal**

Untuk mendapatkan nilai respon kanal, maka bisa dilihat terlebih dahulu diagram blok pada gambar 3.8 berikut ini.



**Gambar 3.8** Proses Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Dari gambar 3.8 tersebut, dapat dideskripsikan langkah-langkahnya sebagai berikut.

- ▶ Mengolah data IQ yang telah disampling saat pengukuran sebelumnya;
- ▶ Data IQ yang telah direkam atau dicapture akan diolah untuk mencari *baseband* sinyal terlebih dahulu, dengan cara melakukan *fast fourier transform*;
- ▶ Menentukan orde filternya, Setelah mendapatkan nilai orde filter, maka selanjutnya orde filter digunakan untuk mendapatkan fungsi filter.
- ▶ Setelah berhasil mendesain fungsi filter dengan teknik *windowing*, kemudian tahap selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal dari hasil perkalian
- ▶ Melakukan proses filter terhadap sinyal tersebut untuk mendapatkan nilai respon kanal dari hasil akhir proses konvolusi tersebut;

Dimana setelah mendapatkan respon kanal, akan digunakan nilai respon kanal tersebut untuk mencari nilai SNR dan BER. Terdapat 4 jenis respon kanal yang dihasilkan dengan diberi simbol  $h_{11}$  untuk Tx1 Rx1,  $h_{12}$  untuk Tx2 Rx1,  $h_{21}$  untuk Tx1 Rx2, dan  $h_{22}$  untuk Tx2 Rx2.

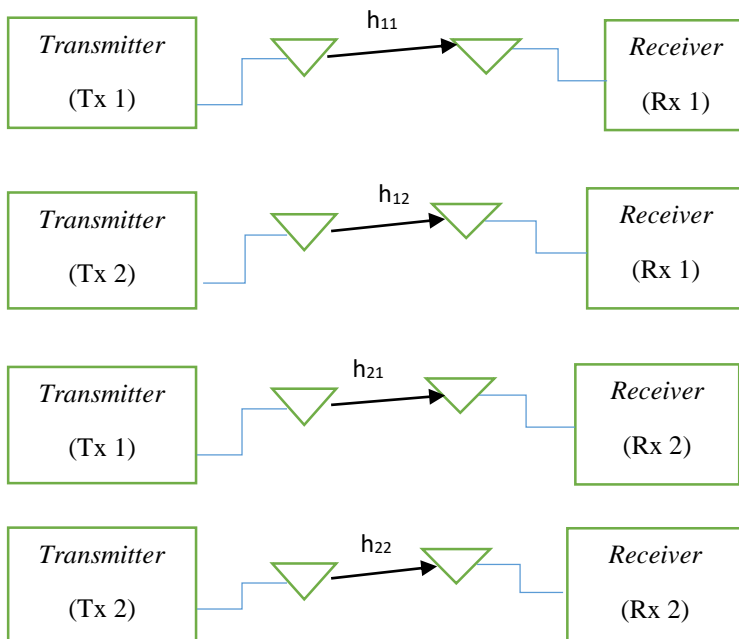
### 3.4 Pengukuran Daya Noise

Pengukuran daya noise dilakukan untuk mengukur daya noise sebuah kanal pada saat pengukuran. Setiap kanal pada semua data pengukuran

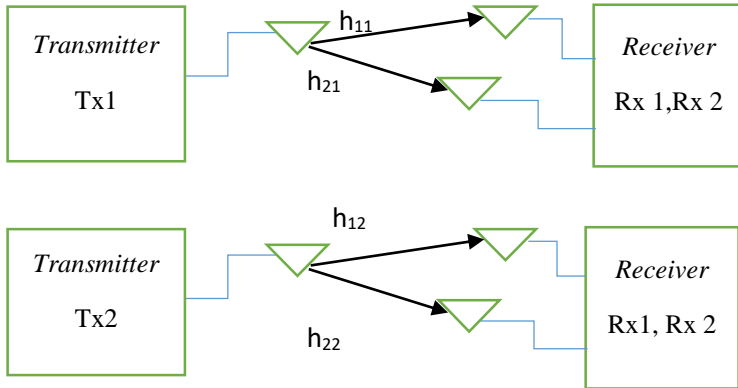
diukur daya noisenya dengan cara mengambil nilai minimum level sinyal pada semua data yang tersimpan. Pada setiap pengukuran, setiap kanal akan menghasilkan level sinyal yang berbeda-beda. Setelah itu, mengambil nilai rata-rata terhadap semua nilai daya noise tersebut.

### 3.5 Desain Konfigurasi Antenna

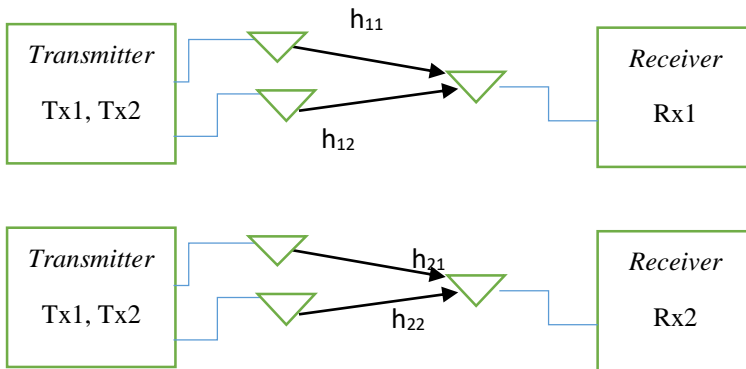
Konfigurasi antenna dibutuhkan untuk perhitungan SNR dan BER yang akan dimasukkan ke dalam suatu rumus persamaan dengan konfigurasi yang diinginkan. Konfigurasi antenna yang digunakan, diantaranya konfigurasi SISO, SIMO, dan MISO. Karena masing-masing respon kanal memiliki nilai dan magnitudo yang berbeda pada skema-skema metode tersebut, maka perlu dilakukannya konfigurasi. Untuk konfigurasi antenna SISO, SIMO, dan MISO dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 3.9** Konfigurasi Antena SISO



**Gambar 3.10** Konfigurasi Antena SIMO



**Gambar 3.11** Konfigurasi Antena MISO

Dari gambar 3.9-3.11 tersebut, maka saya bisa menamakan konfigurasi-konfigurasi link tersebut yang nantinya akan menunjang maupun mendeskripsikan analisis hasil pengukuran pada bab 4 melalui tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2** Penamanaan Konfigurasi Link dari Skema Metode SISO, SIMO, dan MISO

Skema Metode	Nama	Konfigurasi Link
SISO	SISO 1	Tx1 Rx1
	SISO 2	Tx2 Rx1
	SISO 3	Tx1 Rx2
	SISO 4	Tx2 Rx2
SIMO	SIMO 1	Tx1 Rx1 Rx2
	SIMO 2	Tx2 Rx1 Rx2
MISO	MISO 1	Tx1 Tx2 Rx1
	MISO 2	Tx1 Tx2 Rx2

Dari tabel 3.2 tersebut dan penjelasan subbab 2.9, SISO 1 menunjukkan link dari Tx1 ke Rx1 ( $m=11$ ); SISO 2 menunjukkan link dari Tx2 ke Rx1 ( $m=12$ ), SISO 3 menunjukkan link dari Tx1 ke Rx2 ( $m=21$ ); SISO 4 menunjukkan link dari Tx2 ke Rx2 ( $m=22$ ); SIMO 1 menunjukkan link dari Tx1 ke Rx1 dan Rx2 ( $m=11$  dan  $n=21$ ); SIMO 2 menunjukkan link dari Tx2 ke Rx1 dan Rx2 ( $m=12$  dan  $n=22$ ); MISO 1 menunjukkan link dari Tx1 Tx2 ke Rx1 ( $m=11$  dan  $n=12$ , dan MISO 2 menunjukkan link dari Tx1 ke Rx1 dan Rx2 ( $m=21$  dan  $n=22$ ). Untuk skema metode SISO,  $n=0$  dikarenakan hanya menggunakan 1 pemancar dan penerima, bukan termasuk *combining diversity*. Sehingga, skema metode SISO, SIMO, dan MISO bisa dibandingkan baik dari nilai SNR dan BER dari konfigurasi link yang digunakan pada penelitian ini.

### 3.6 Perhitungan SNR dan BER SISO, SIMO, dan MISO

Perhitungan SNR dan BER diperlukan untuk mengetahui seberapa besar kualitas informasi yang diterima oleh penerima atau receiver. Penelitian ini menggunakan konfigurasi skema metode SISO 1x1, SIMO 1x2, dan MISO 2x1.

Nilai  $\alpha$  merupakan magnitudo dari respon kanal yang didapat,  $\epsilon_s$  atau energi simbol sama dengan  $E_b$  atau energi bit karena menggunakan modulasi BPSK dengan  $M = 2$ . Setiap kanal memancarkan 1 watt, sehingga energi simbol yang dipancarkan sebesar 1 joule. Daya pancar baik pengukuran Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang masing-masing sebesar 20 watt.  $N_0$  merupakan daya pada noise yang merupakan daya yang diambil dari nilai minimum level sinyal pada semua data yang

telah *tercapture*. Dengan asumsi bahwa noise pada penelitian ini adalah white noise, sehingga noise pada semua data hasil pengukuran memiliki nilai yang sama. SNR didapat dari persamaan 2.4, sedangkan BER atau Bit Error Rate didapat dari persamaan 2.27, dengan  $\gamma_b$  sama dengan  $E_b/N_0$  dalam bentuk dB.

Pada perhitungan untuk konfigurasi SISO, SIMO, dan MISO menggunakan bantuan data respon kanal yang sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan. Semakin besar atau kecil magnitudo yang didapat dari respon kanal, maka akan berpengaruh terhadap SNR dan BER pada masing-masing konfigurasi tersebut.

### 3.7 Spesifikasi Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan mengikuti beberapa spesifikasi yang perlu diikuti baik pada link Surabaya-Malang maupun link Bandung-Surabaya. Spesifikasi lengkap untuk pengukuran sistem komunikasi HF ini bisa dilihat pada tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3. 3** Spesifikasi Pengukuran Sistem Komunikasi HF pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang

No	Spesifikasi Pengukuran	Simbol	Bandung-Surabaya	Surabaya-Malang	Ket
1	Frekuensi	F	5,7,10	7	MHz
2	Antenna		Horizonta 1 Dipole	Horizonta 1 Dipole	
3	Jarak		575	75	km
4	Metode		SISO, SIMO, dan MISO	SISO, SIMO, dan MISO	
5	Sinyal yang Dikirim		Sinyal Tone	Sinyal Tone	
6	SDR		USRP	USRP	
7	Pantulan		Single Hop	Single Hop	

### 3.8 Proses Pengukuran

Pada lokasi link pengukuran pada bagian pengirim maupun penerima, masing-masing menggunakan 2 antena, dengan menggunakan peralatan seperti USRP, Amplifier, dan Laptop.

- Pada bagian pengirim, dengan menghubungkan satu USRP untuk mengendalikan kedua USRP, masing-masing USRP mengirimkan sinyal tone yang dipancarkan menuju bagian penerima.
- Sinyal yang diterima pada bagian penerima, dimana laptop bagian penerima akan menampilkan grafik yang akan menampilkan respon kanal hasil pengukuran yang dimana apakah sinyal dikirim diterima atau tidak. Apabila sinyal diterima, maka pada bagian penerima mensampling hasil pengukuran tersebut yang berupa grafik untuk disimpan dalam bentuk format CSV.
- Dalam setiap pengambilan data, terdapat 5 kali pensamplingan. Kemudian, dalam selang waktu tertentu, dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali *sampling*.
- Pada pengukuran yang telah dilakukan, data yang tersampling pada pengukuran link Bandung-Surabaya sebanyak 102 data, sedangkan pada link Surabaya-Malang sebanyak 57 data. Perbedaan jumlah data yang tersampling ini terjadi dikarenakan adanya keterbatasan mengenai waktu pengambilan data pada lokasi Malang sehingga data yang didapatkan hanya sebanyak 57 data.
- Setiap hasil pengukuran yang tersimpan dalam bentuk CSV (excel) kemudian akan dioalah datanya untuk mencari respon kanal dengan menggunakan software Matlab. Respon kanal yang didapatkan nantinya berupa respon kanal h11 untuk Tx1 Rx1, h12 untuk Tx2 Rx1, h21 untuk Tx1 Rx2, dan h22 untuk Tx2 Rx2.
- Setelah mendapatkan nilai respon kanal pada masing-masing kanal, maka selanjutnya kita dapat gunakan respon kanal tersebut untuk menghitung SNR dan BER.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB 4

### ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Pada analisis hasil pengukuran dan simulasi ini, akan dibahas mengenai *Signal to Noise Ratio* (SNR) serta *Bit Error Rate* (BER) dengan modulasi BPSK pada skema metode SISO (*Single Input Single Output*), SIMO (*Single Input Multi Output*), dan MISO (*Multi Input Single Output*) pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel, serta pada link Surabaya-Malang sebanyak 57 indeks sampel. Diketahui bahwa skema SIMO merupakan skema *receive diversity* atau penerimanya lebih dari satu, dimana pada kasus ini menggunakan 1 antena pemancar dan 2 antena penerima. Sedangkan, untuk skema metode MISO merupakan skema *transmit diversity* atau pemancarnya lebih dari satu, dimana pada kasus ini menggunakan 2 antena pemancar dan 1 antena penerima. Pada link Bandung-Surabaya, bagian pemancar berada di Bandung dan penerima berada di Surabaya. Sedangkan, pada link Surabaya-Malang, bagian pemancar berada di Surabaya dan bagian penerima berada di Malang.

#### 4.1 Mencari Nilai Respon Kanal

Dari data IQ *graph* yang telah *dicapture*, maka dapat diolah untuk mencari data respon kanal yang diinginkan. Dan nantinya, respon kanal tersebut dapat diolah untuk mencari SNR dan BER pada penelitian ini dengan berbagai konfigurasi yang diinginkan pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang.

Data IQ yang telah *dicapture* akan diolah untuk mencari *baseband* sinyal terlebih dahulu, dengan cara melakukan proses *fast fourier transform*. Setelah mendapatkan *baseband* sinyal, langkah selanjutnya merupakan dengan melakukan proses filter terhadap sinyal tersebut untuk mendapatkan nilai respon kanal. Filter yang digunakan adalah filter yang menggunakan teknik *windowing* dengan memilih *window Hamming*. Sebelum melakukan proses *filtering*, langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan orde filternya. Setelah mendapatkan nilai orde filter, maka selanjutnya orde filter tersebut digunakan untuk mendapatkan fungsi filter.

Setelah berhasil mendesain fungsi filter dengan teknik *windowing*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan konvolusi antara fungsi filter dengan fungsi sinyal dari hasil perkalian. Hasil akhir dari proses konvolusi ini menghasilkan nilai respon kanal setiap kanal pemancar

terhadap kanal penerima. Terdapat 4 jenis respon kanal yang dihasilkan dengan diberi simbol  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ , dan  $h_{22}$ .

Nilai  $h_{11}$  menunjukkan nilai respon kanal antara Tx1 dan Rx1, nilai  $h_{12}$  menunjukkan nilai respon kanal antara Tx2 dan Rx1, nilai  $h_{21}$  menunjukkan nilai respon kanal antara Tx1 dan Rx2, dan nilai  $h_{22}$  menunjukkan nilai respon kanal antara Tx2 dan Rx2. Nilai respon kanal pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang secara keseluruhan bisa dilihat pada bagian lampiran C.1 dan D.1 di buku ini.

Nilai respon kanal pada link Bandung-Surabaya didapat pada tanggal 24,25,29, dan 30 Agustus 2017. Sedangkan, untuk nilai respon kanal pada link Surabaya-Malang didapat pada tanggal 4 Oktober 2017. Nilai respon kanal ini berupa bilangan kompleks yang dapat dihitung nilai magnitudonya dan phasenya. Nilai magnitudonya akan menunjukan besar kecilnya penguatan yang dialami sinyal informasi pada kanal tersebut, sedangkan nilai phasenya akan menunjukan besar fase sinyal tersebut. Dari data respon kanal yang didapat, adanya peningkatan dan penurunan pada nilai respon kanal pada masing-masing link di setiap pengambilan data, sehingga mempengaruhi besarnya nilai magnitudo dan phasenya, serta juga mempengaruhi perhitungan yang akan dicari di penelitian ini, yaitu SNR dan BER. Ini dapat terjadi karena ada pengaruh pada kondisi kanal seperti lapisan ionosfer yang memantulkan propagasi yang terkirim, *fading*, maupun *doppler shift*. Waktu pengukuran yang dilakukan juga berpengaruh dikarenakan kondisi siang dan malam mempengaruhi kepadatan ionisasi dan kerapatan elektron pada lapisan ionosfer yang digunakan untuk memantulkan sinyal yang dikirim, dan faktor lainnya. Nilai respon kanal ini nantinya akan dipergunakan kembali untuk mencari SNR dan BER.

## 4.2 Perhitungan *Energy per Bit to Noise Ratio* ( $E_b/N_0$ )

Pada bagian ini akan ditampilkan dan dibahas mengenai perhitungan *energy per bit to noise ratio* ( $E_b/N_0$ ) pada skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang.

Nilai  $E_b/N_0$  akan didapat dari persamaan 2.10 pada subbab 2.9 dengan merujuk pada tabel 3.2 pada subbab 3.5, dimana pada persamaan 2.10 tersebut, nilai  $E_b/N_0$  dipengaruhi oleh magnitud yang didapat. Pada penelitian ini, terdapat 4 jenis magnitud, yaitu  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{12}$ ,  $\alpha_{21}$ ,  $\alpha_{22}$ , dimana  $\alpha_{11}$  merupakan magnitud dari respon kanal  $h_{11}$ ;  $\alpha_{12}$  merupakan nilai magnitud dari respon kanal  $h_{12}$ ;  $\alpha_{21}$  merupakan nilai magnitud dari

respon kanal  $h_{21}$ ; serta  $\alpha_{22}$  merupakan nilai magnitud dari respon kanal  $h_{22}$ . Kemudian, dapat dibuat tabel perbandingan nilai *energy per bit to noise ratio* ( $E_b/N_0$ ) yang didapat sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya dan 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang secara keseluruhan dapat dilihat di bagian lampiran C.4, C.5, D.4, dan D.5 buku ini.

Dari perhitungan  $E_b/N_0$  yang didapat, terdapat adanya peningkatan dan penurunan pada nilai  $E_b/N_0$  di skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang di setiap perhitungan yang dilakukan.

### **4.3 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)**

Pada bagian ini akan ditampilkan dan dianalisis mengenai perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) pada skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang.

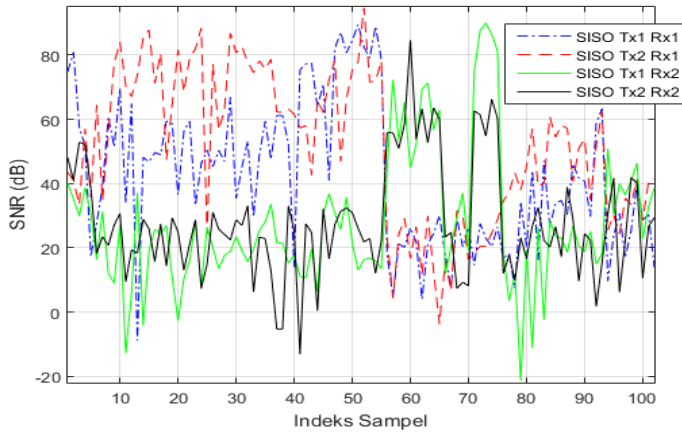
Nilai SNR didapat dari persamaan 2.4 pada subbab 2.5 dengan merujuk pada tabel 3.2 pada subbab 3.5. Pada persamaan 2.4 tersebut, nilai SNR dipengaruhi oleh magnitud yang didapat yang telah dijelaskan di subbab 4.2 sebelumnya, dan nilai  $E_s/N_0$  yang didapat, dimana  $E_s/N_0$  merupakan *energy per symbol to noise power spectral density ratio*. Karena menggunakan modulasi BPSK dengan  $M=2$ , maka nilai  $E_s/N_0$  sama dengan nilai  $E_b/N_0$  yang didapat. Kemudian, dapat dibuat tabel perbandingan nilai SNR yang didapat sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya dan 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang secara keseluruhan dapat dilihat di bagian lampiran C.6-C.9, dan D.6-D.9 buku ini.

#### **4.4.1 SNR Link Bandung-Surabaya**

Pada subbab ini akan menampilkan dan menganalisis hasil simulasi grafik perbandingan SNR antara skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel.

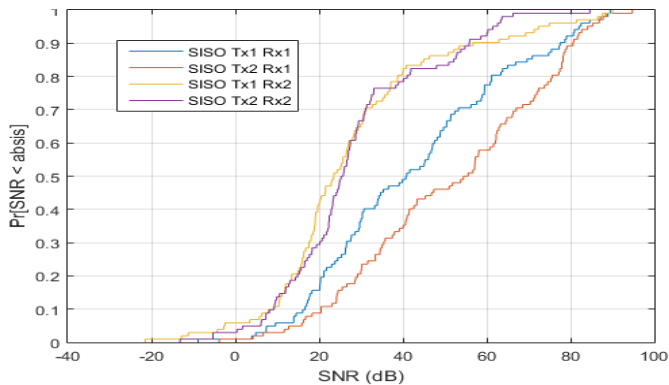
##### **4.4.1.1 SNR SISO Bandung-Surabaya**

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di lampiran C.4, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 1, SISO 2, dan SISO 3, dan SISO 4 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya seperti pada gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran C.7, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF SNR antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.2 sebagai berikut.



**Gambar 4.2** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya

Dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.1 dan 4.2, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya pada tabel 4.1 berikut.

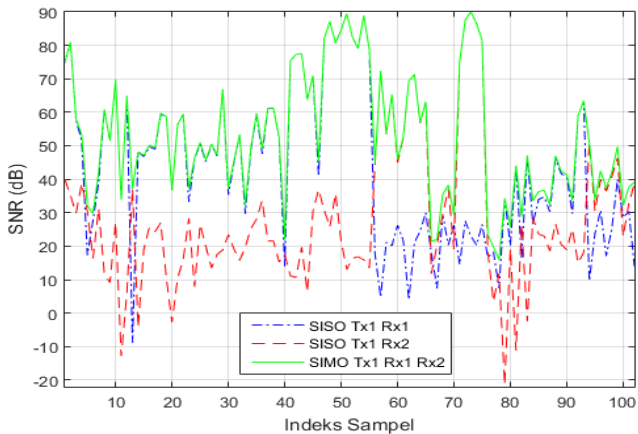
**Tabel 4.1** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya

	SNR (dB)			
	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
Rata-Rata	42,39889	51,46615	27,80076	28,08101
Standar Deviasi	22,79268	23,24937	21,0993	17,65502

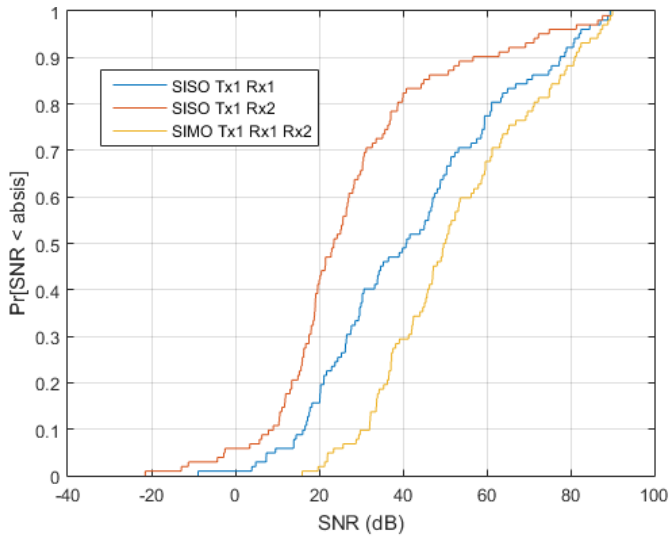
Dari tabel 4.1 tersebut, nilai rata-rata SNR link SISO 2 ( Tx2 Rx1 ) lebih besar dibandingkan dengan link SISO yang lain. Namun, nilai standar deviasi terkecil ada di link SISO 4 ( Tx2 Rx2 ) dibandingkan dengan link SISO yang lain pada link Bandung-Surabaya..

#### 4.4.1.2 SNR SISO dan SIMO Bandung-Surabaya

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di lampiran C.4 dan C.6, maka dapat dibuat simulasi grafik antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4.3** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.4** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya

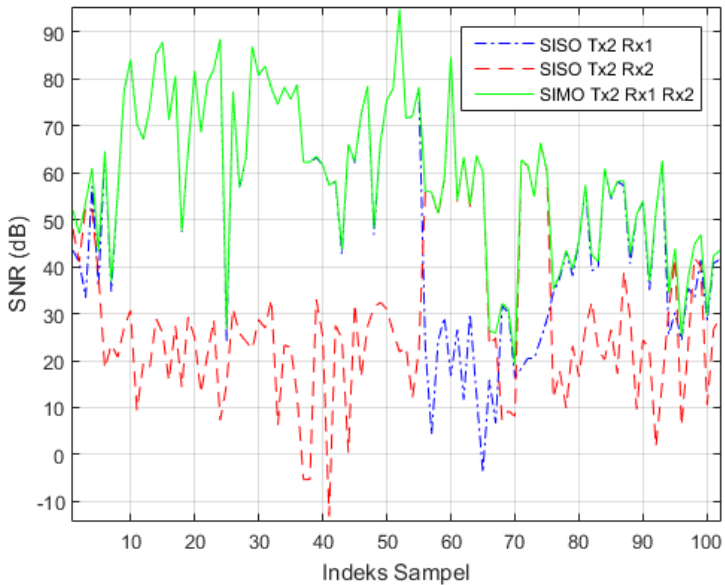
Sedangkan, gambar 4.4 merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.5 dan C.7 antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.4 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai SNR link SISO 1 selalu lebih besar daripada nilai SNR link SISO 3 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.3 dan 4.4, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link SIMO 1 (Tx1 Rx1 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun link SISO 3 (Tx1 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai SNR link SIMO 1 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 1 dan SISO 3. Kemudian, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.2. Dari tabel 4.2 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link SIMO 1 lebih baik dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 3 pada link Bandung-Surabaya, yang dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

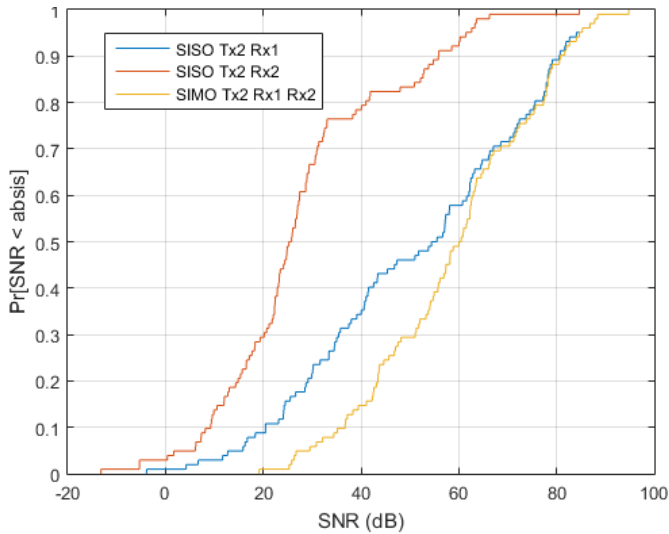
**Tabel 4.2** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya

	SNR (dB)		
	SISO 1	SISO 3	SIMO 1
Rata-Rata	42,39889	27,80076	52,73608
Standar Deviasi	22,79268	21,0993	18,78943

Kemudian, dari tabel perbandingan SNR juga yang terdapat di bagian lampiran C.4 dan C.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.5 berikut.



**Gambar 4.5** Perbandingan SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.6** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Gambar 4.6 merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran C.5 dan C.7 antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.6 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai SNR link SISO 2 selalu lebih besar daripada nilai SNR link SISO 4 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.5 dan 4.6, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link SIMO 2 (Tx2 Rx1 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 2 (Tx1 Rx2) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai SNR link SIMO 2 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 2 dan SISO 4.

Kemudian, diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya yang dapat dilihat pada tabel 4.3. Dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link SIMO 2 lebih baik dibandingkan dengan SISO 2 dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya, yang dapat dilihat melalui tabel 4.3 berikut.

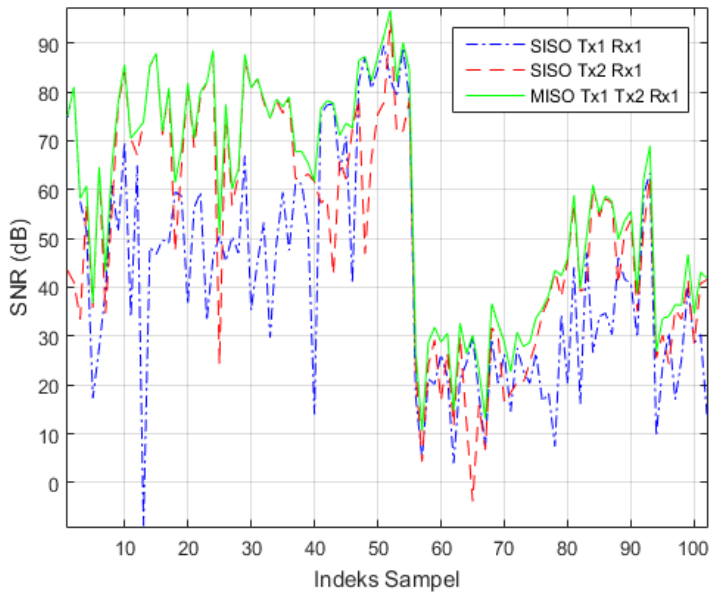


**Tabel 4.3** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya

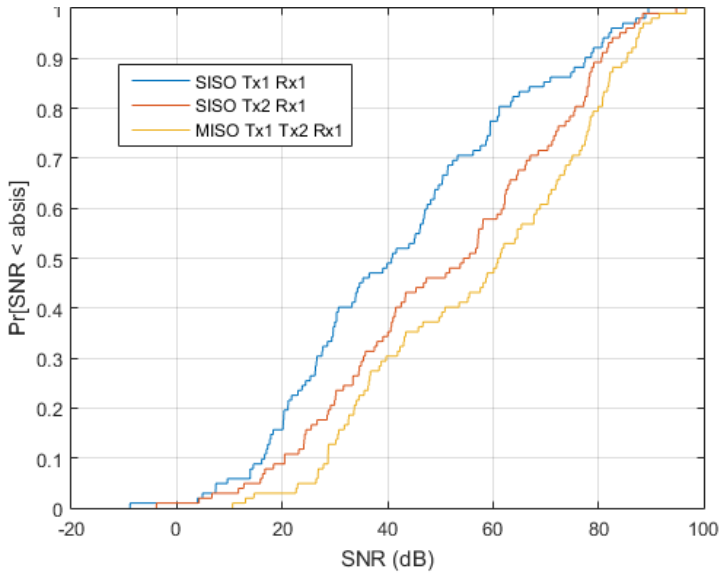
	SNR (dB)		
	SISO 2	SISO 4	SIMO 2
Rata-Rata	51,46615	28,0810	59,01612
Standar Deviasi	23,24937	17,65502	17,03999

#### 4.4.1.3 SNR SISO dan MISO Bandung-Surabaya

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di bagian lampiran C.4 dan C.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.7 sebagai berikut.



**Gambar 4.7** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.8** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya

Gambar 4.8 merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.5 dan C.7 antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.8 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai SNR skema metode SISO 2 selalu lebih besar daripada nilai SNR link SISO 1 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

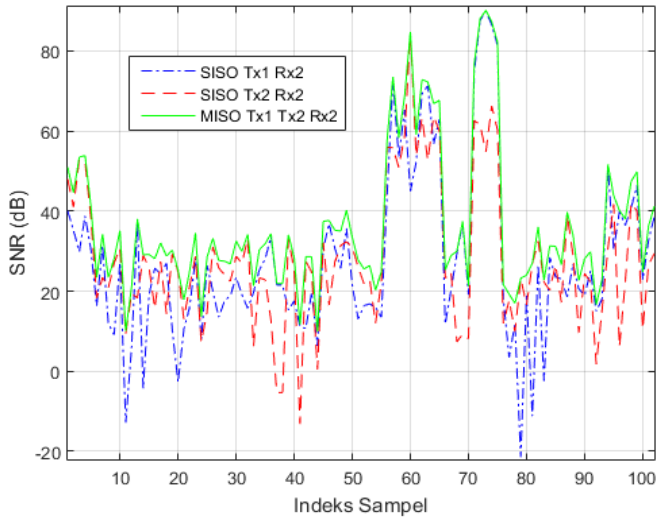
Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.7 dan 4.8, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link MISO 1 (Tx1 Tx2 Rx1) selalu lebih besar dibandingkan dengan SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 2 (Tx2 Rx1). Hal ini dikarenakan nilai SNR link MISO 1 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 1 dan SISO 2.

Kemudian, diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya yang ditampilkan pada tabel 4.4. Dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link MISO 1 lebih baik dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 2 pada link Bandung-Surabaya, yang dapat diketahui melalui tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4. 4** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya

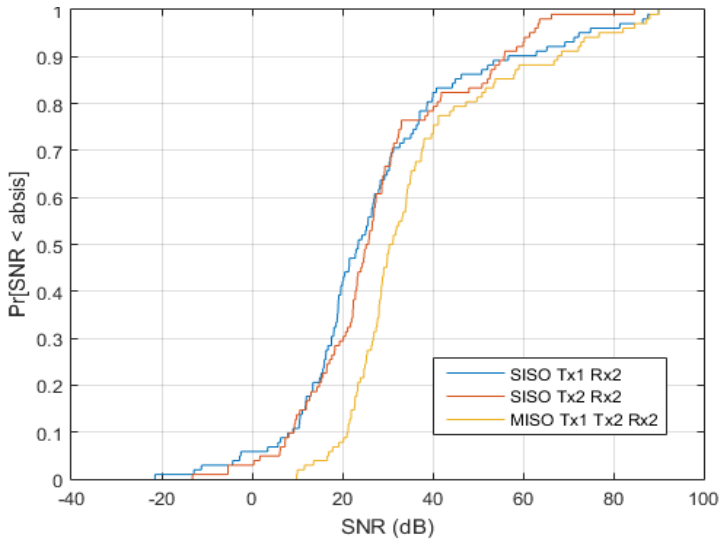
	SNR (dB)		
	SISO 1	SISO 2	MISO 1
Rata-Rata	42,39889	51,46615	57,85576
Standar Deviasi	22,79268	23,24937	22,23249

Kemudian, dari tabel perbandingan SNR juga pada bagian lampiran C.4 dan C.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.9 sebagai berikut.



**Gambar 4.9** Perbandingan SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran C.5 dan C.7, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF SNR antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.10 berikut.



**Gambar 4.10** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Dari gambar 4.10 tersebut, *ratio probability* dari 0 sampai 0,9, nilai SNR SISO 4 relatif lebih besar dari nilai SNR SISO 3. Namun, saat *ratio probability* dari 0,9 sampai 1, nilai SNR SISO 4 lebih kecil dari nilai SNR SISO 3.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.9 dan 4.10, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link MISO 2 (Tx1 Tx2 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 3 (Tx1 Rx2) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai SNR link MISO 2 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 3 dan SISO 4.

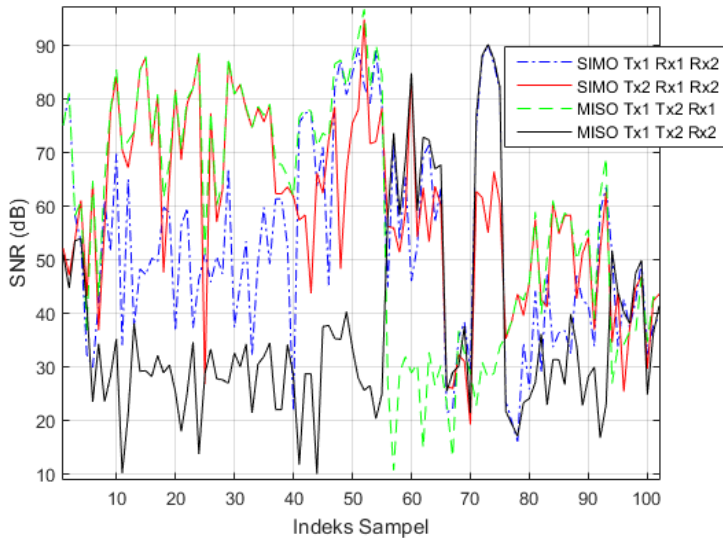
Kemudian, diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya yang ditampilkan pada tabel 4.5. Dari tabel 4.5 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata SNR link MISO 2 lebih besar dibandingkan dengan link SISO 3 dan SISO 4, namun nilai standar deviasi terkecil berada di link SISO 4 pada link Bandung-Surabaya, yang dapat diketahui melalui tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4. 5** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

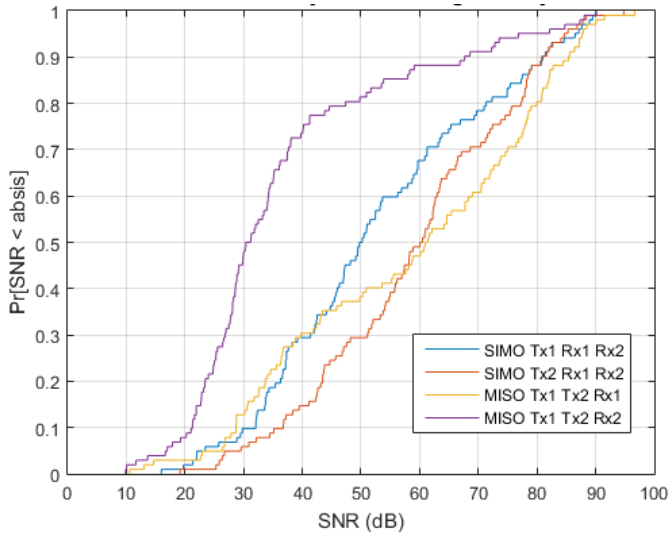
	SNR (dB)		
	SISO 3	SISO 4	MISO 2
Rata-Rata	27,80076	28,08101	36,60555
Standar Deviasi	21,0993	17,65502	18,16043

#### 4.4.1.4 SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di bagian lampiran C.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan SIMO 2 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.11 sebagai berikut.



**Gambar 4.11** Perbandingan SNR link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.12** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Bandung-Surabaya

Dari gambar 4.11 tersebut, tidak begitu jelas perbandingan nilai SNR mana yang lebih baik antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel tersebut. Oleh karena itu, digunakanlah simulasi grafik CDF sebagai alternatif yang dihasilkan melalui tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran C.7, sehingga dapat dibuat simulasi grafik CDF SNR antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya yang terdapat pada gambar 4.12.

Dari gambar 4.12 tersebut, nilai SNR MISO 2 selalu lebih kecil dibandingkan dengan nilai SNR link SIMO 1, SIMO 2, dan MISO 1 dari nilai *ratio probability* 0 sampai 1. Saat *ratio probability*nya dari 0 sampai 0.4, nilai SNR SIMO 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai SNR link SIMO dan MISO yang lain. Namun, saat *ratio probability*nya dari 0.4 sampai 1, nilai SNR MISO 1 yang lebih besar dibandingkan dengan nilai SNR link SIMO 1, SIMO 2, dan MISO 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.11 dan 4.12, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.6 berikut.

**Tabel 4. 6** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

	SNR (dB)			
	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
Rata-Rata	52,73608	59,01612	57,85576	36,60555
Standar Deviasi	18,78943	17,03999	22,23249	18,16043

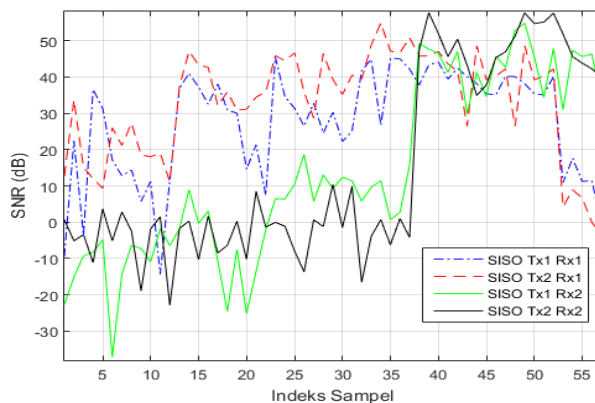
Dari tabel 4.6 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link SIMO 2 ( Tx2 Rx1 Rx2 ) lebih baik dibandingkan dengan link SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya.

#### 4.4.2 SNR Link Surabaya-Malang

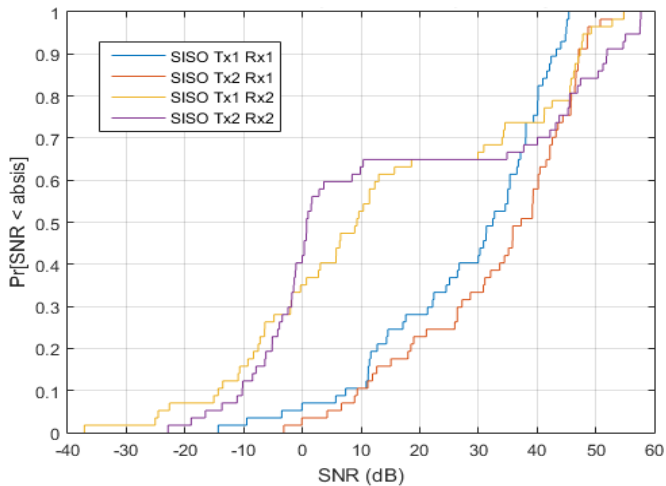
Pada subbab ini akan menampilkan dan menganalisis hasil simulasi grafik perbandingan SNR antara skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Surabaya-Malang sebanyak 57 indeks sampel.

##### 4.4.2.1 SNR SISO Surabaya-Malang

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di bagian lampiran D.4, maka dapat dibuat simulasi grafik antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang pada gambar berikut.



**Gambar 4.13** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.14** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang

Sedangkan, Gambar 4.14 merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran D.5 antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

Dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.13 dan 4.14, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4. 7** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)			
	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
Rata-Rata	27,70884	32,94497	13,80565	14,68816
Standar Deviasi	14,85748	14,57262	24,48985	25,70898

Dari tabel 4.7 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link SISO 2 ( Tx2 Rx1 ) lebih baik dibandingkan dengan link SISO 1, SISO 3, dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

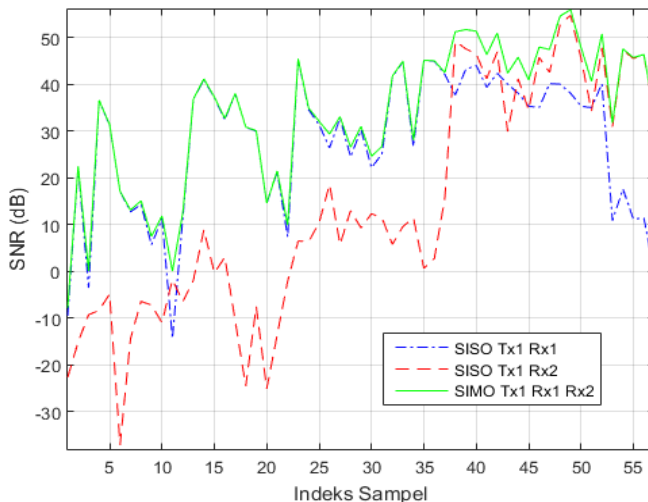


#### 4.4.2.2 SNR SISO dan SIMO Surabaya-Malang

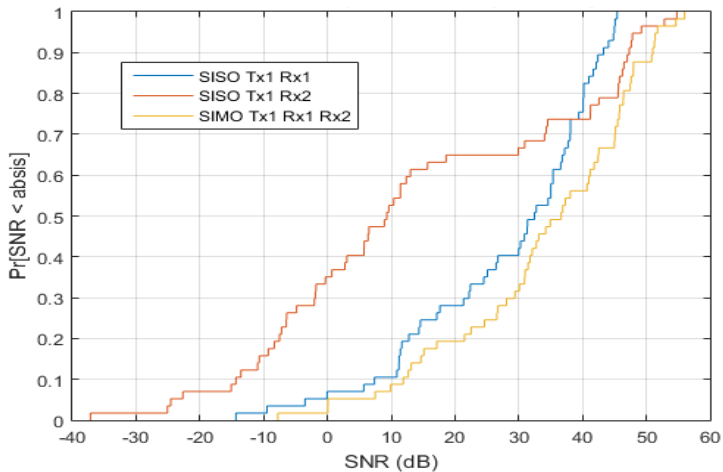
Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat pada bagian lampiran D.4 dan D.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang dapat dilihat pada gambar 4.15.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.5 dan D.7, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF SNR antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada link Surabaya-Malang yang terdapat pada gambar 4.16. Dari gambar 4.16, saat nilai *ratio probability* dari 0 sampai 0.7, nilai SNR SISO 1 lebih besar daripada nilai SNR SISO 3. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0.71 sampai 1, nilai SNR SISO 1 lebih kecil daripada nilai SNR SISO 3.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.15 dan 4.16, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link SIMO 1 (Tx1 Rx1 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 3 (Tx1 Rx2).



**Gambar 4.15** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang

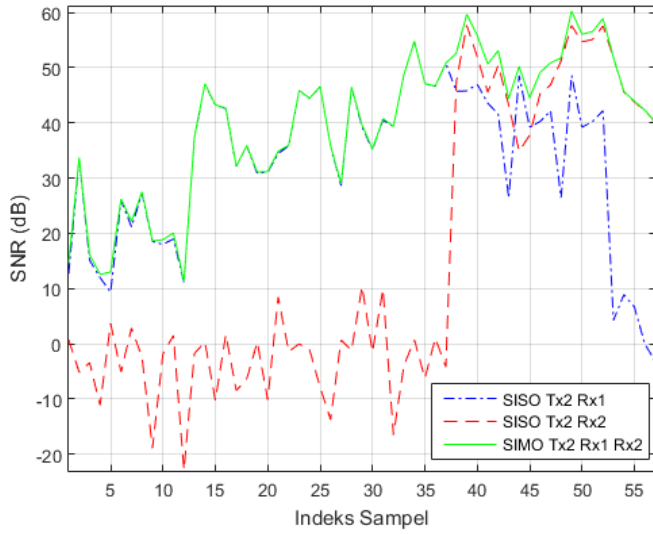


**Gambar 4.16** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang

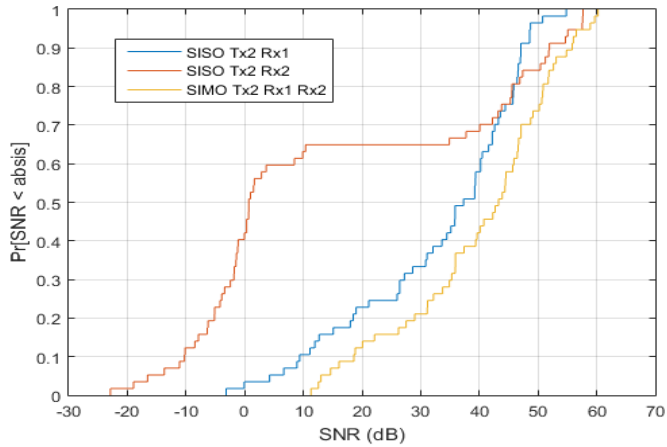
Kemudian, diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya yang ditampilkan pada tabel 4.8. Dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata SNR link SIMO 1 lebih besar dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 3. Namun, standar deviasi terkecil berada pada link SISO 1 dibandingkan dengan link SISO 3 dan SIMO 1, yang dapat diketahui melalui tabel 4.8 berikut

**Tabel 4.8** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)		
	SISO 1	SISO 3	SIMO 1
Rata-Rata	27,70884	13,80565	33,65102
Standar Deviasi	14,85748	24,48985	15,20246



**Gambar 4.17** Perbandingan SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.18** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang

Gambar 4.17 merupakan simulasi grafik perbandingan SNR yang dibuat dari tabel perbandingan SNR pada bagian lampiran D.4 dan D.6 antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang.

Sedangkan, Gambar 4.18 merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran D.5 dan D.7 antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada link Surabaya-Malang. Dari gambar 4.18 tersebut, saat nilai *ratio probability* dari 0 sampai 0.7, nilai SNR SISO 2 lebih besar daripada nilai SNR SISO 4. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0.71 sampai 1, nilai SNR SISO 2 lebih kecil daripada nilai SNR SISO 4.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.17 dan 4.18, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link SIMO 2 (Tx2 Rx1 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 2 (Tx2 Rx1) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai SNR link SIMO 2 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 2 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.9 berikut.

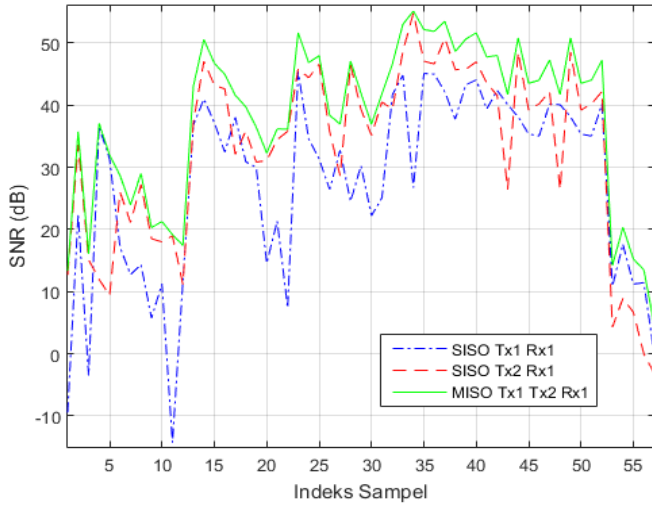
**Tabel 4.9** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)		
	SISO 2	SISO 4	SIMO 2
Rata-Rata	32,94497	14,68816	39,93415
Standar Deviasi	14,57262	25,70898	13,19158

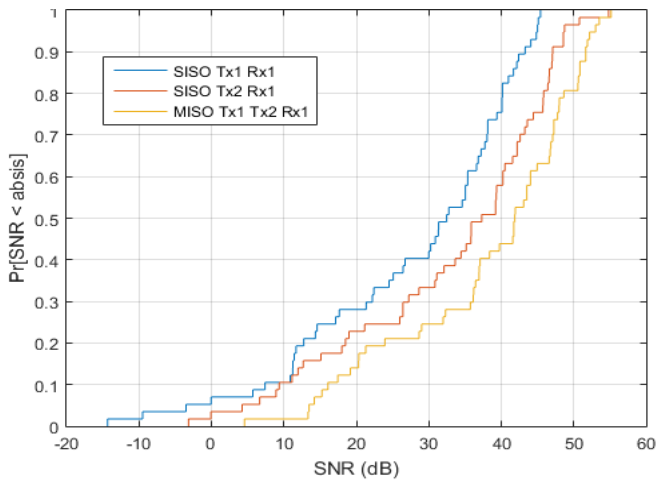
Dari tabel 4.9 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link SIMO 2 lebih baik dibandingkan dengan link SISO 2 dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

#### 4.4.2.3 SNR SISO dan MISO Surabaya-Malang

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat di bagian lampiran D.4 dan D.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang pada gambar 4.19 sebagai berikut.



**Gambar 4.19** Perbandingan SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.20** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang

Sedangkan, gambar 4.20 tersebut merupakan simulasi grafik CDF SNR yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran D.5 dan D.7 antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada link Surabaya-Malang. Dari gambar 4.20 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai SNR link SISO 2 selalu lebih besar daripada nilai SNR link SISO 1 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.19 dan 4.20, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link MISO 1 (Tx1 Tx2 Rx1) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 2 (Tx2 Rx1). Hal ini dikarenakan nilai SNR link MISO 1 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 1 dan SISO 2. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.10 berikut.

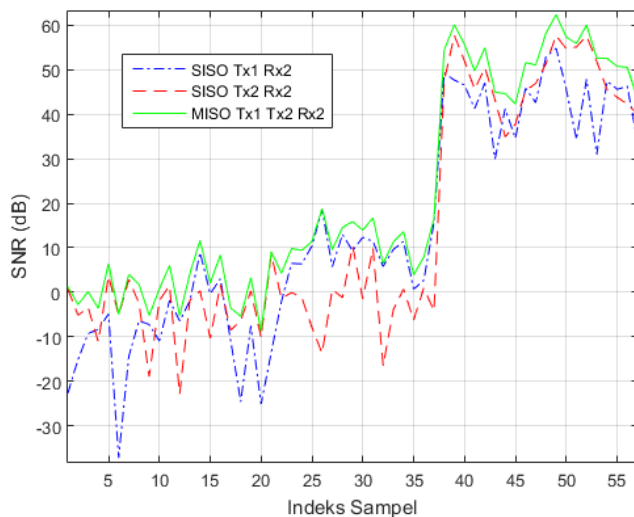
**Tabel 4.10** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)		
	SISO 1	SISO 2	MISO 1
Rata-Rata	27,70884	32,94497	38,12712
Standar Deviasi	14,85748	14,57262	12,94401

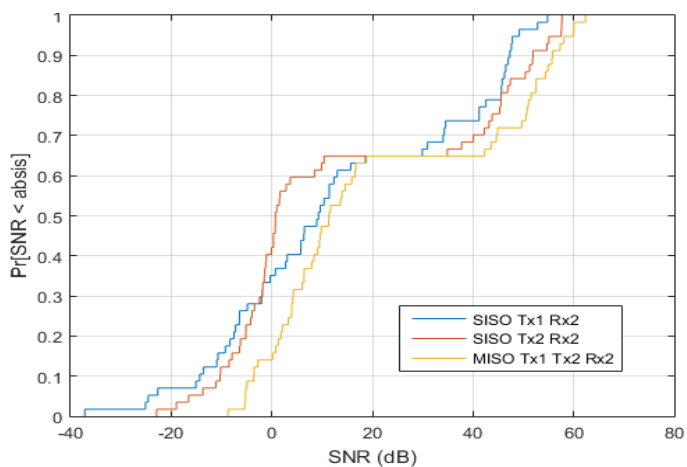
Dari tabel 4.10 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link MISO 1 lebih baik dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 2 pada link Surabaya-Malang.

Kemudian, dari tabel perbandingan SNR juga pada bagian lampiran D.4 dan D.6, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.21.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.5 dan D.7, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF SNR antara link SISO 3, SISO 4, dan SIMO 2 pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.22. Dari gambar 4.22 tersebut, saat *ratio probability*nya dari 0 sampai 0.3, dan 0.65 sampai 1, nilai SNR SISO 4 lebih besar daripada nilai SNR SISO 3. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0.3 sampai 0.65, nilai SNR SISO 4 lebih kecil daripada nilai SNR SISO 3



**Gambar 4.21** Perbandingan SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.22** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.21 dan 4.22, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link MISO 2 (Tx1 Tx2 Rx2) selalu lebih besar dibandingkan dengan link SISO 3 (Tx1 Rx2) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai SNR link MISO 2 merupakan hasil penjumlahan nilai SNR link dari SISO 3 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.11 berikut.

**Tabel 4.11** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)		
	SISO 3	SISO 4	MISO 2
Rata-Rata	13,80565	14,68816	22,05208
Standar Deviasi	24,48985	25,70898	23,66673

Dari tabel 4.11 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link MISO 2 lebih baik dibandingkan dengan link SISO 3 dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

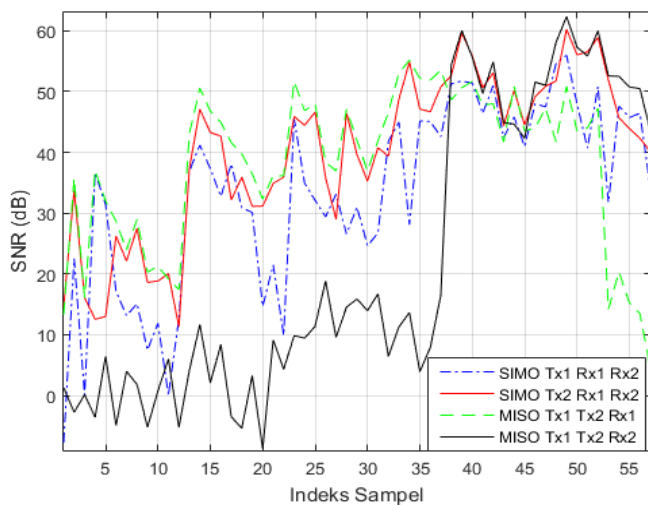
#### 4.4.2.4 SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang

Dari tabel perbandingan SNR yang terdapat pada bagian lampiran D.6, maka dapat dibuat simulasi grafik antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang dapat dilihat pada gambar 4.23.

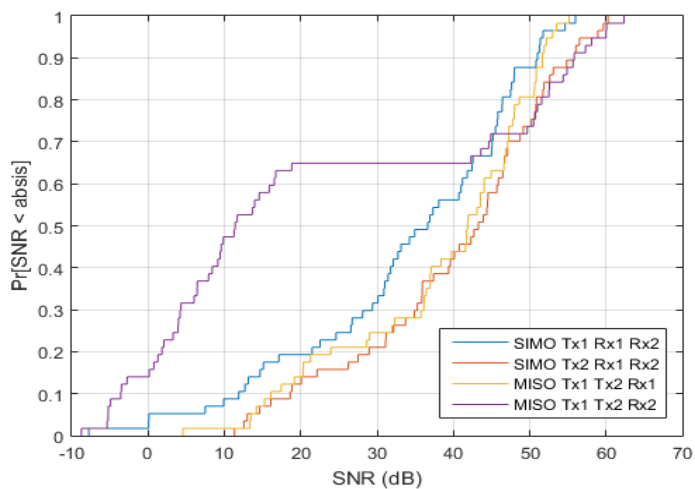
Dari gambar 4.23, tidak begitu jelas perbandingan nilai SNR mana yang lebih baik antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang sebanyak 57 indeks sampel tersebut. Oleh karena itu, digunakanlah simulasi grafik CDF SNR sebagai alternatif yang dihasilkan melalui tabel CDF yang terdapat di bagian lampiran D.7 antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang yang terdapat pada gambar 4.24.

Dari gambar 4.24 tersebut, saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai 0,7, nilai SNR link SIMO 2 relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai SNR pada link SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2. Dan di saat bersamaan, nilai SNR MISO 2 lebih kecil dibandingkan dengan nilai SNR link SIMO dan MISO yang lain. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0,71 sampai 1, nilai SNR MISO 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai SNR link SIMO dan MISO yang lain





**Gambar 4.23** Perbandingan SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang



**Gambar 4. 24** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.23 dan 4.24, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.12 berikut.

**Tabel 4.12** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi SNR Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

	SNR (dB)			
	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
Rata-Rata	33,65102	39,93415	38,12712	22,05208
Standar Deviasi	15,20246	13,19158	12,94401	23,66673

Dari tabel 4.12 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata SNR link SIMO 2 ( Tx2 Rx1 Rx2 ) lebih besar dibandingkan dengan link SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2. Namun, nilai standar deviasi terkecil ada di link MISO 1 ( Tx1 Tx2 Rx1 ) dibandingkan dengan link SIMO 1, SIMO 2, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang.

#### 4.4 Perhitungan *Bit Error Rate* (BER)

Pada bagian ini akan ditampilkan dan dianalisis mengenai perhitungan *bit error rate* (BER) pada skema metode SISO, SIMO, dan MISO dengan modulasi BPSK pada link Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang.

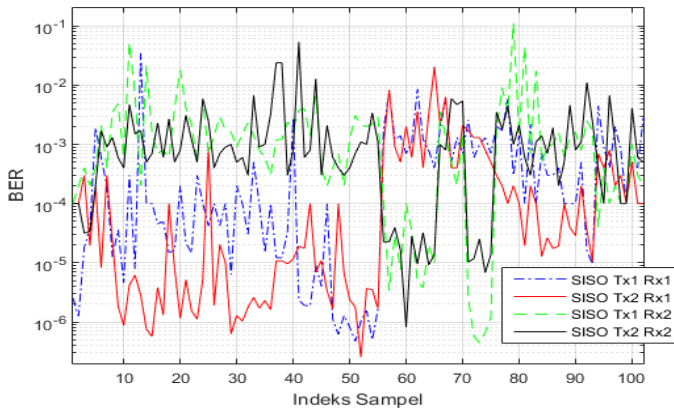
Nilai BER didapat dari persamaan 2.27 pada subbab 2.10 dengan merujuk pada tabel 3.2 pada subbab 3.5, dimana pada persamaan 2.27 tersebut, nilai BER dipengaruhi oleh nilai  $E_b/N_0$  atau  $\gamma_b$  yang didapat. Kemudian, dapat dibuat tabel perbandingan nilai BER yang didapat sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya dan 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang secara keseluruhan dapat dilihat di bagian lampiran C.10-C13, dan D.10-D.13 buku ini.

##### 4.5.1 BER Link Bandung-Surabaya

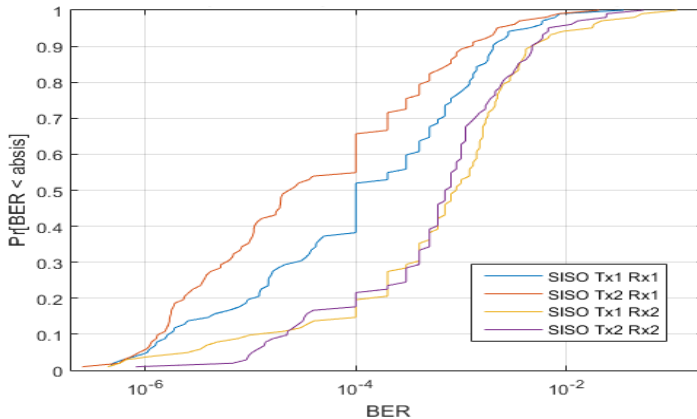
Pada subbab ini akan menampilkan dan menganalisis hasil simulasi grafik perbandingan BER dengan modulasi BPSK antara skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel.

#### 4.5.1.1 BER SISO Bandung-Surabaya

Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran C.8, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara skema metode SISO 1, SISO 2, SISO 3. dan SISO 4 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.25 berikut.



**Gambar 4.25** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Skema Metode SISO pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.26** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Skema Metode SISO pada Link Bandung-Surabaya

Gambar 4.26 merupakan simulasi grafik CDF BER yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.9 antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya.

Dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.25 dan 4.26, maka dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.13 berikut.

**Tabel 4.13** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1 SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Bandung-Surabaya

	BER			
	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
Rata-Rata	0,001108	0,00064	0,003901	0,002452
Standar Deviasi	0,003683	0,002296	0,013037	0,006372

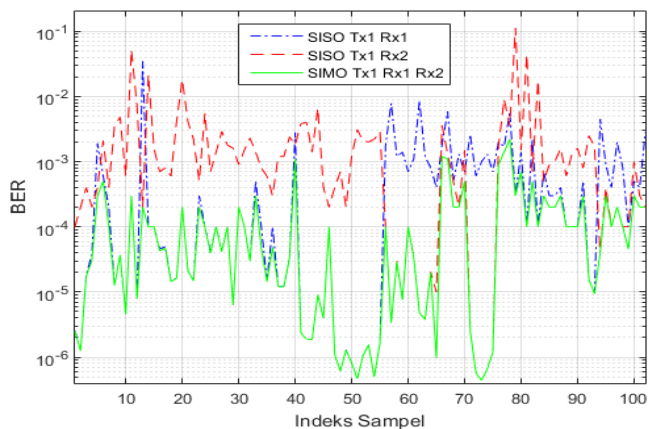
Dari tabel 4.13 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SISO 2 ( Tx2 Rx1 ) lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1, SISO 3, dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya.

#### 4.5.1.2 BER SISO dan SIMO Bandung-Surabaya

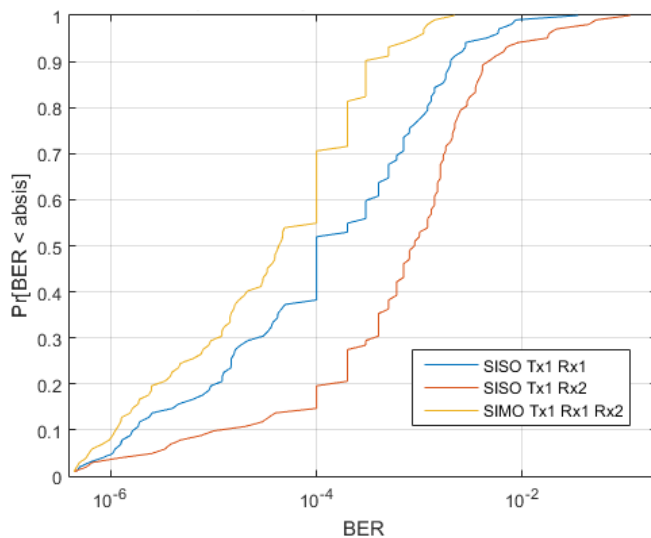
Dari tabel perbandingan BER dengan modulasi BPSK yang terdapat pada bagian lampiran C.8 dan C.10, maka dapat dibuat simulasi grafik antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya yang dapat dilihat pada gambar 4.27.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.9 dan C.11, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF BER antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.28. Dari gambar 4.28 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai BER link SISO 1 selalu lebih kecil daripada nilai SNR link SISO 3 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.27 dan 4.28, dapat dikatakan bahwa nilai BER link SIMO 1 (Tx1 Rx1 Rx2) selalu lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 3 (Tx1 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link SIMO 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 1 dan SISO 3. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.14.



**Gambar 4.27** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya



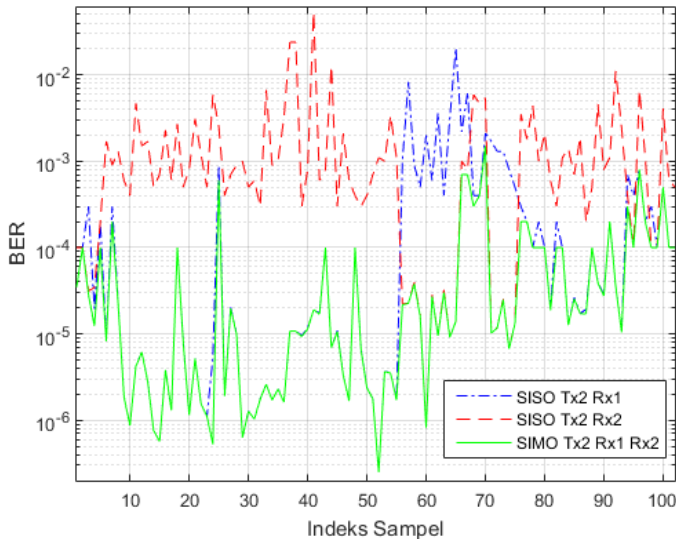
**Gambar 4.28** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya

**Tabel 4.14** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya

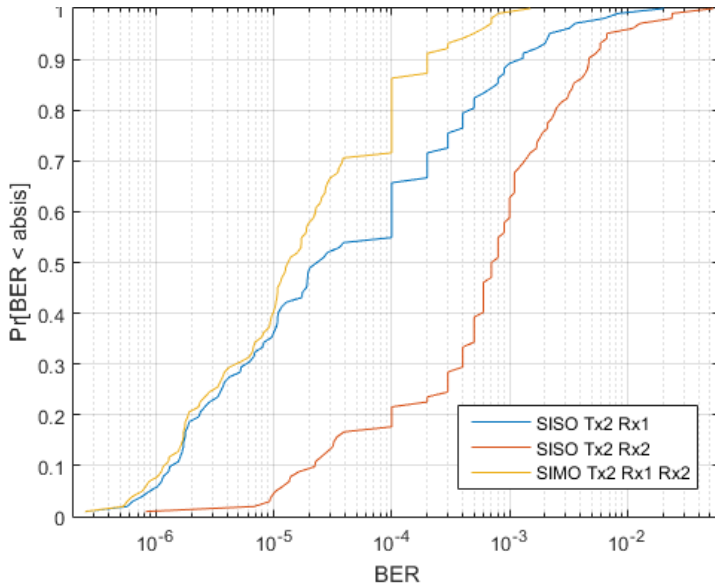
	BER		
	SISO 1	SISO 3	SIMO 1
Rata-rata	0,001108	0,003901	0,000172
Standar Deviasi	0,003683	0,013037	0,0003332

Dari tabel 4.14 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 1 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 3 pada link Bandung-Surabaya.

Kemudian, dari tabel perbandingan BER juga yang terdapat pada bagian lampiran C.8 dan C.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.29 sebagai berikut.



**Gambar 4.29** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.30** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Sedangkan, gambar 4.30 merupakan simulasi grafik CDF BER yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.9 dan C.11 antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.30 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai BER link SISO 2 selalu lebih kecil daripada nilai BER link SISO 4 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.29 dan 4.30, dapat dikatakan bahwa nilai BER link SIMO 2 (Tx2 Rx1 Rx2) selalu lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 2 (Tx2 Rx1) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link SIMO 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 2 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.15 berikut.

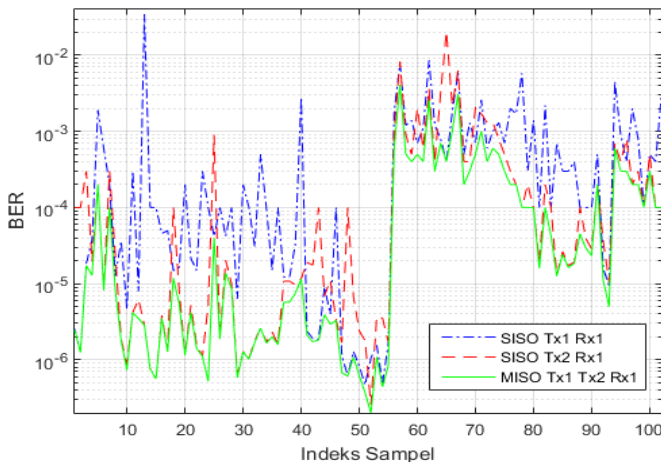
**Tabel 4.15** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya

	BER		
	SISO 2	SISO 4	SIMO 2
Rata-Rata	0,00064	0,002452	$8,99 \times 10^{-5}$
Standar Deviasi	0,002296	0,006372	0,000208

Dari tabel 4.15 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 2 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 2 dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya.

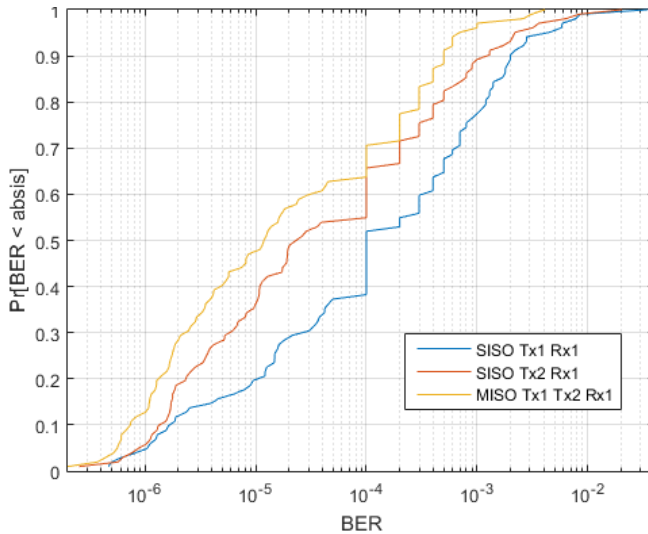
#### 4.5.1.3 BER SISO dan MISO Bandung-Surabaya

Dari tabel perbandingan BER dengan modulasi BPSK yang terdapat pada bagian lampiran C.8 dan C.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.31 sebagai berikut.



**Gambar 4.31** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya





**Gambar 4.32** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Bandung-Surabaya

Sedangkan, Gambar 4.32 merupakan simulasi grafik CDF BER yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.9 dan C.11 antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.32 tersebut, bisa dikatakan bahwa nilai BER link SISO 2 selalu lebih kecil daripada nilai BER link SISO 1 dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

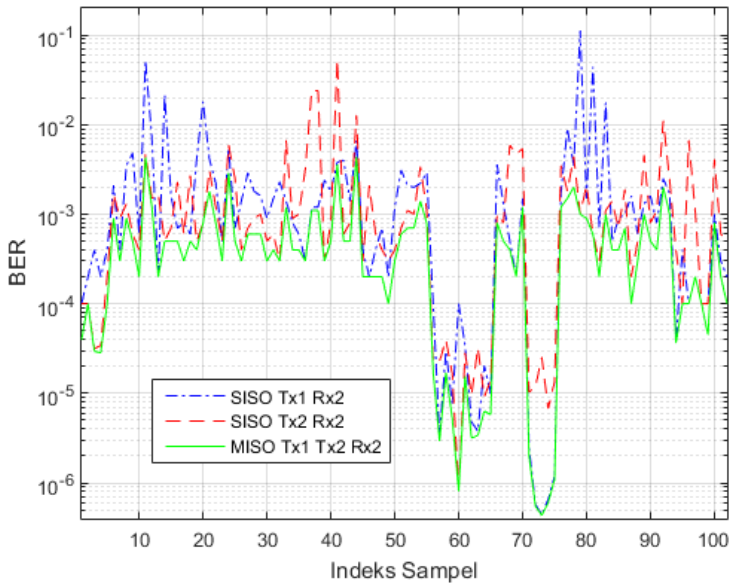
Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.31 dan 4.32, dapat dikatakan bahwa nilai BER link MISO 1 (Tx1 Rx1 Rx2) selalu lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 2 (Tx2 Rx1). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link MISO 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 1 dan SISO 2.

Kemudian, diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.16. Dari tabel 4.16, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link MISO 1 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 2 pada link Bandung-Surabaya, yang dapat dilihat melalui tabel 4.16 berikut

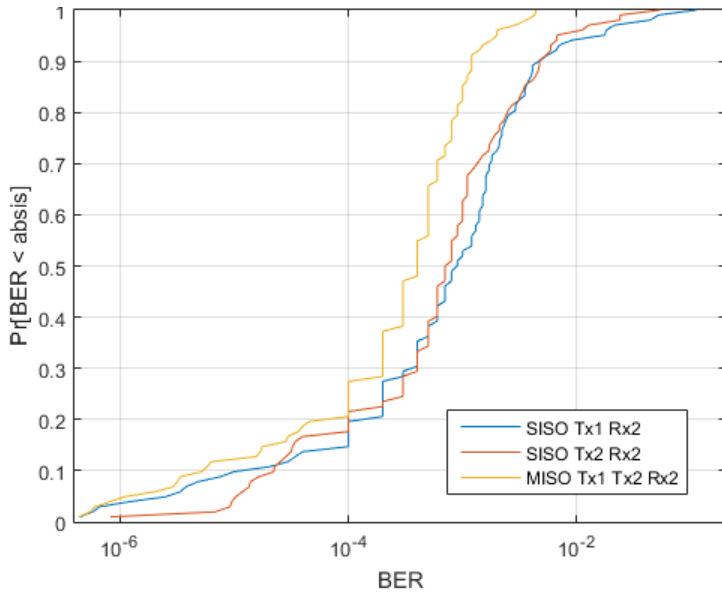
**Tabel 4.16** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Bandung-Surabaya

	BER		
	SISO 1	SISO 2	MISO 1
Rata-Rata	0,001108	0,00064	0,000219
Standar Deviasi	0,003683	0,002296	0,000797

Kemudian, dari tabel perbandingan BER juga pada bagian lampiran C.8 dan C.10, dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.33 sebagai berikut.



**Gambar 4.33** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.34** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Sedangkan, gambar 4.34 merupakan simulasi grafik CDF BER yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.9 dan C.11 antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya. Dari gambar 4.34 tersebut, dapat dikatakan bahwa BER SISO 3 maupun SISO 4 saling mendahului satu sama lain dengan *ratio probability* dari 0 sampai 1.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.33 dan 4.34, dapat dikatakan bahwa nilai BER link MISO 2 (Tx1 Tx2 Rx2) selalu lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 3 (Tx1 Rx2) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link MISO 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 3 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.17 berikut.

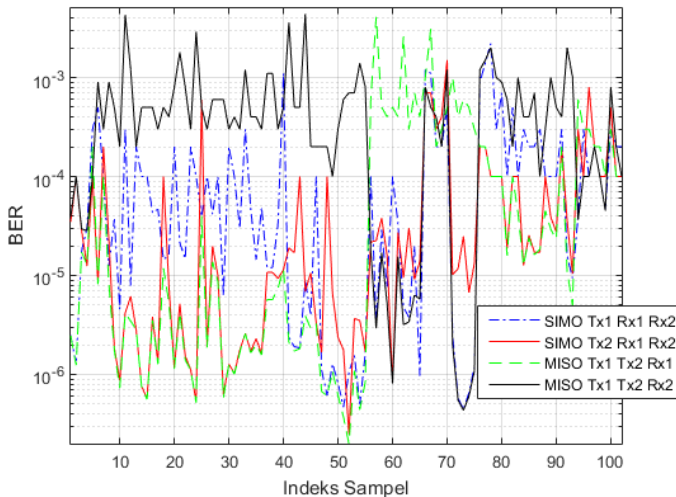
**Tabel 4.17** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 3, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Bandung-Surabaya

	BER		
	SISO 3	SISO 4	MISO 2
Rata-Rata	0,003901	0,002452	0,000603
Standar Deviasi	0,013037	0,006372	0,000797

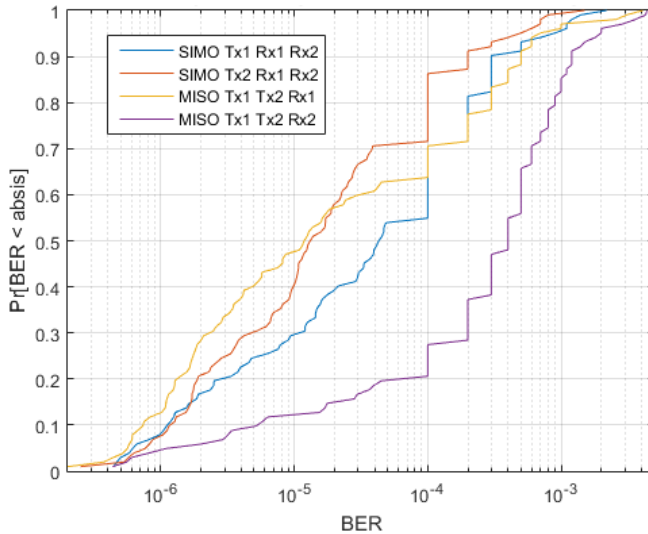
Dari tabel 4.17 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link MISO 2 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 3 dan SISO 4 pada link Bandung-Surabaya.

#### 4.5.1.4 *BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya*

Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran C.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 1 sebanyak 102 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya pada gambar 4.35 sebagai berikut.



**Gambar 4.35** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya



**Gambar 4.36** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

Dari gambar 4.35 tersebut, tidak begitu jelas perbandingan nilai BER mana yang lebih baik antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel tersebut. Oleh karena itu, digunakanlah simulasi grafik CDF BER sebagai alternatif, yang dihasilkan melalui tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran C.11 antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya yang terdapat pada gambar 4.36.

Dari gambar 4.36 tersebut, nilai BER MISO 2 selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai BER SIMO dan MISO yang lain. Saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai 0.55, nilai BER MISO 1 lebih kecil dibandingkan dengan nilai BER SIMO dan MISO yang lain. Namun, setelah itu sampai dengan nilai *ratio probability*nya 1, nilai BER SIMO 1 lebih kecil dibandingkan dengan nilai BER SIMO dan MISO yang lain.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.35 dan 4.36, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.18 berikut.

**Tabel 4.18** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Bandung-Surabaya

	BER			
	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
Rata-Rata	0,000172	$8,99 \times 10^{-5}$	0,000219	0,000603
Standar Deviasi	0,000332	0,000208	0,000584	0,000797

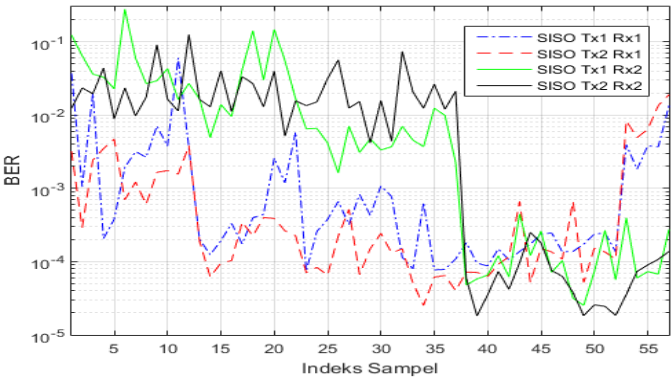
Dari tabel 4.18 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 2 ( Tx2 Rx1 Rx2 ) lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya.

**4.5.2 BER Link Surabaya-Malang**

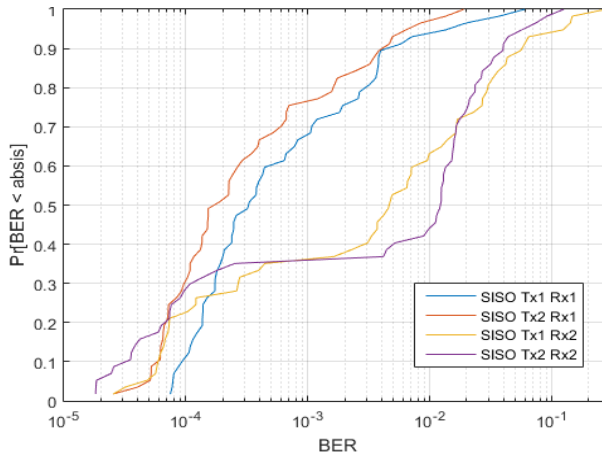
Pada subbab ini akan menampilkan dan menganalisis hasil simulasi grafik perbandingan BER antara skema metode SISO, SIMO, dan MISO pada link Surabaya-Malang sebanyak 57 indeks sampel.

**4.5.2.1 BER SISO Surabaya-Malang**

Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran D.8, maka dapat dibuat simulasi grafik antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3. dan SISO 4 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang pada gambar 4.37 sebagai berikut.



**Gambar 4.37** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.38** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, SISO 4 pada Link Surabaya-Malang

Sedangkan, Gambar 4.38 merupakan simulasi grafik CDF BER yang dibuat dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran D.9 antara link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

Dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.37 dan 4.38, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.19 berikut.

**Tabel 4.19** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 2, SISO 3, dan SISO 4 pada Link Surabaya-Malang

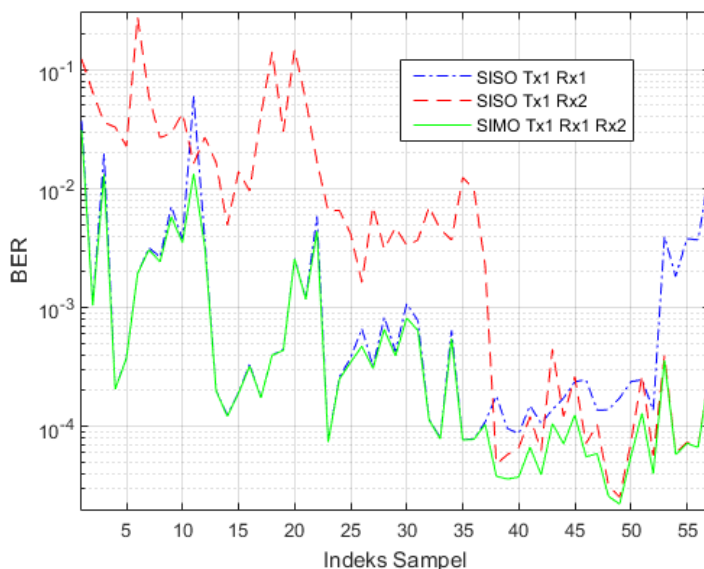
	BER			
	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
Rata-Rata	0,003272	0,001484	0,02311	0,016683
Standar Deviasi	0,009535	0,003342	0,047206	0,023465

Dari tabel 4.19 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SISO 2 ( Tx2 Rx1 ) lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1, SISO 3, dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

#### 4.5.2.2 BER SISO dan SIMO Surabaya-Malang

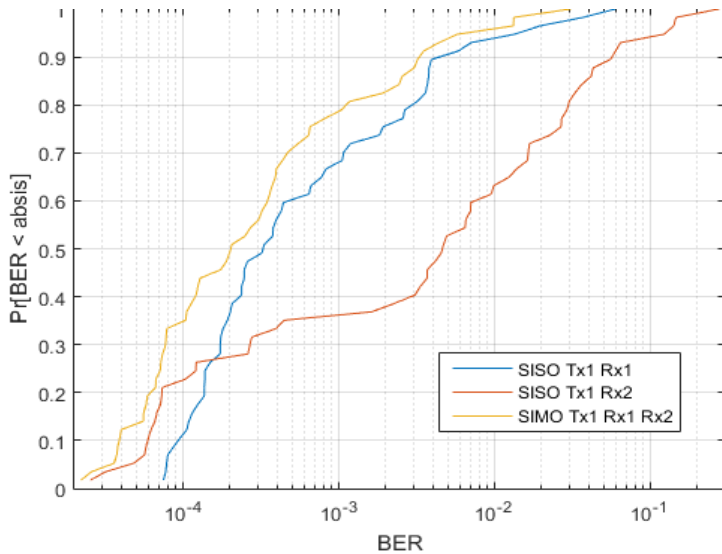
Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran D.8 dan D.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang dapat dilihat pada gambar 4.39.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.9 dan D.11, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF BER antara link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada link Surabaya-Malang yang dapat dilihat pada gambar 4.40. Dari gambar 4.40, saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai sekitar 0.28, nilai BER SISO 3 lebih kecil daripada nilai BER SISO 1. Namun, saat nilai *ratio probability* setelahnya sampai 1, nilai BER SISO 1 yang lebih kecil daripada nilai BER SISO 3.



**Gambar 4.39** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang





**Gambar 4.40** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.39 dan 4.40, dapat dikatakan bahwa nilai BER link SIMO 1 (Tx1 Rx1 Rx2) sebagian besar lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 3 (Tx1 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link SIMO 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 1 dan SISO 3. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.20 berikut.

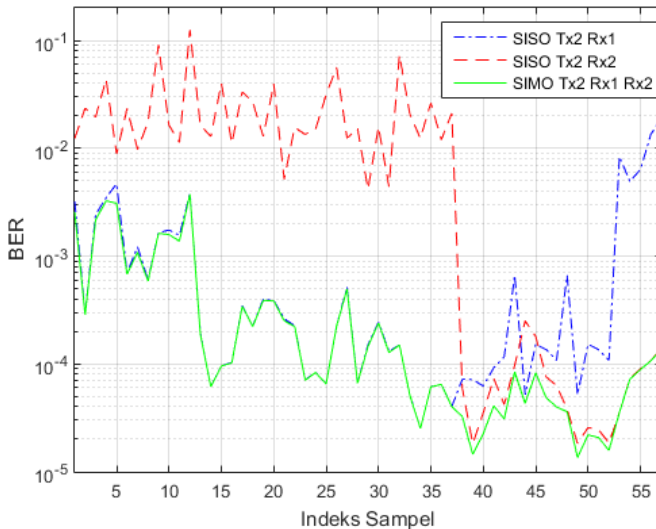
**Tabel 4.20** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 3, dan SIMO 1 pada Link Surabaya-Malang

	BER		
	SISO 1	SISO 3	SIMO 1
Rata-Rata	0,003272	0,023111	0,00168
Standar Deviasi	0,009535	0,047206	0,004728

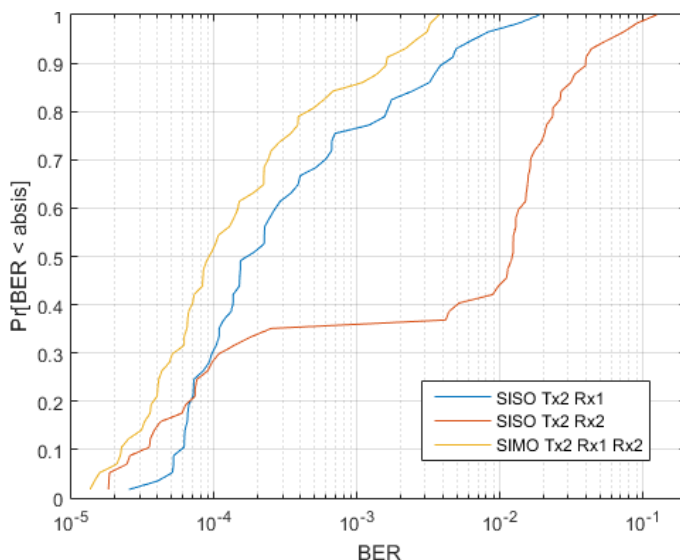
Dari tabel 4.20 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 1 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 3 pada link Surabaya-Malang.

Kemudian, dari tabel perbandingan BER juga pada bagian lampiran D.8 dan D.10, maka juga dapat dibuat simulasi grafik perbandingan SNR antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.41 sebagai berikut.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.9 dan D.1, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF dengan *ratio probability* BER antara link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.42. Dari gambar 4.42, saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai sekitar 0.2, nilai BER SISO 4 lebih kecil daripada nilai BER SISO 2. Namun, saat nilai *ratio probability* setelahnya sampai 1, nilai BER SISO 2 yang lebih kecil daripada nilai BER SISO 4.



**Gambar 4.41** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.42** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.41 dan 4.42, dapat dikatakan bahwa nilai SNR link SIMO 2 (Tx2 Rx1 Rx2) sebagian besar lebih besar dibandingkan dengan link SISO 2 (Tx2 Rx1) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link SIMO 2 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 2 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.21 berikut.

**Tabel 4.21** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 2, SISO 4, dan SIMO 2 pada Link Surabaya-Malang

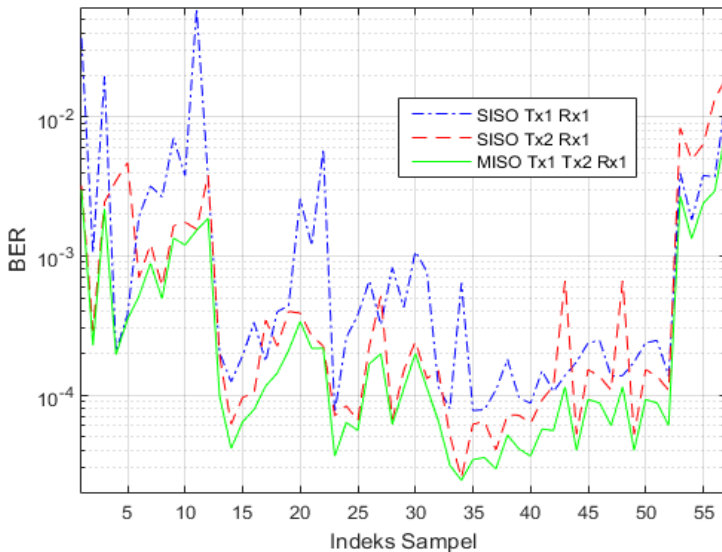
	BER		
	SISO 2	SISO 4	SIMO 2
Rata-Rata	0,001484	0,016833	0,000477
Standar Deviasi	0,003342	0,023465	0,000876

Dari tabel 4.21 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 2 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 2 dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

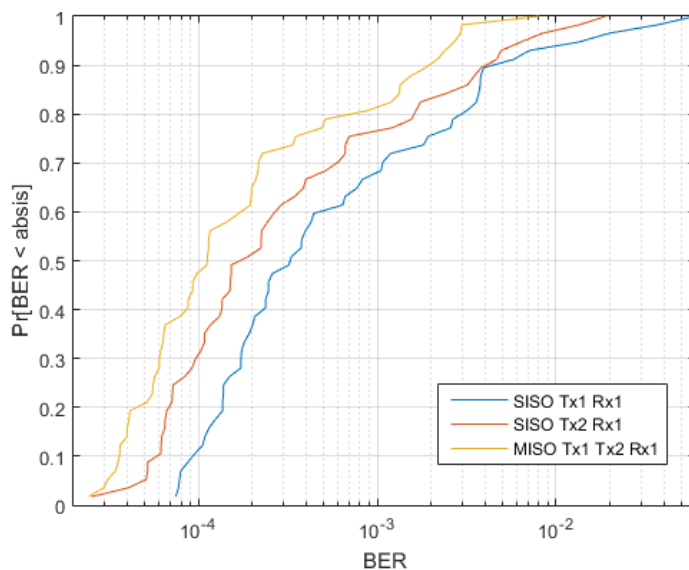
#### 4.5.2.3 *BER SISO dan MISO Surabaya-Malang*

Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran D.8 dan D.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 sebanyak 57 indeks sampel pada link Bandung-Surabaya, yang dapat dilihat pada gambar 4.43.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.9 dan D.11, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF BER antara link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.44. Dari gambar 4.44, bisa dikatakan bahwa nilai BER SISO 2 lebih kecil daripada nilai BER SISO 1.



**Gambar 4.43** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.44** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.43 dan 4.44, dapat dikatakan bahwa nilai BER link MISO 1 (Tx1 Tx2 Rx1) sebagian besar lebih kecil dibandingkan link SISO 1 (Tx1 Rx1) maupun SISO 2 (Tx2 Rx1). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link MISO 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 1 dan SISO 2. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.22 berikut.

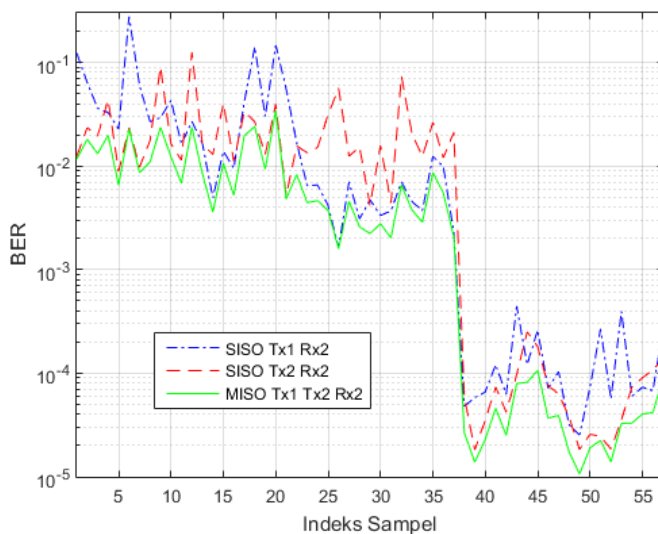
**Tabel 4.22** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 1, SISO 2, dan MISO 1 pada Link Surabaya-Malang

	BER		
	SISO 1	SISO 2	MISO 1
Rata-Rata	0,003272	0,001484	0,000619
Standar Deviasi	0,009535	0,003342	0,001281

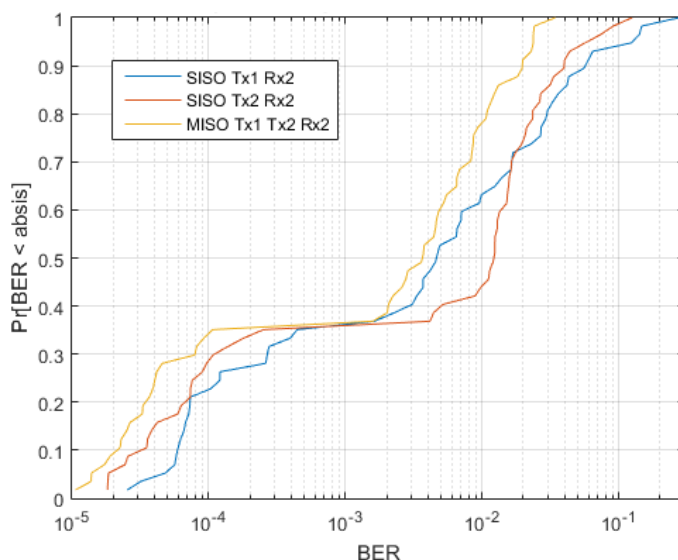
Dari tabel 4.22 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link MISO 1 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 1 dan SISO 2 pada link Surabaya-Malang.

Kemudian, dari tabel perbandingan BER juga yang terdapat pada bagian lampiran D.8 dan D.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.45.

Sedangkan, dari tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif yang terdapat di bagian lampiran D.9 dan D.11, maka dapat dibuat simulasi grafik CDF dengan *ratio probability* BER antara link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.46. Dari gambar 4.46, saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai sekitar 0.35 dan dari 0.7 sampai 1, nilai BER SISO 4 lebih kecil daripada nilai BER SISO 3. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0.35 sampai 0.7, nilai BER SISO 3 yang lebih kecil daripada nilai BER SISO 4.



**Gambar 4.45** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang



**Gambar 4.46** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.45 dan 4.46, dapat dikatakan bahwa nilai BER link MISO 2 (Tx1 Tx2 Rx2) sebagian besar lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 3 (Tx1 Rx2) maupun SISO 4 (Tx2 Rx2). Hal ini dikarenakan nilai  $E_b/N_0$  link SIMO 1 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_b/N_0$  link dari SISO 3 dan SISO 4. Nilai rata-rata maupun standar deviasinya dapat diketahui melalui tabel 4.23 berikut.

**Tabel 4.23** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SISO 3, SISO 4, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

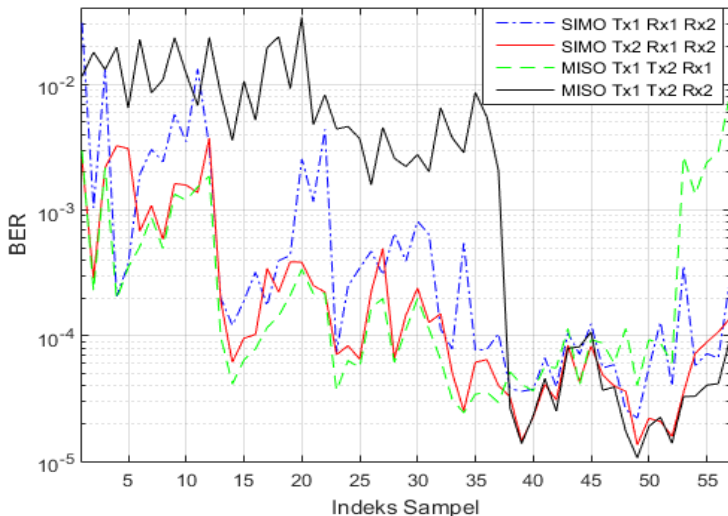
	BER		
	SISO 3	SISO 4	MISO 2
Rata-rata	0,023111	0,016683	0,006395
Standar Deviasi	0,047206	0,023465	0,007986

Dari tabel 4.23 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi SNR link MISO 2 lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SISO 3 dan SISO 4 pada link Surabaya-Malang.

#### 4.5.2.4 BER SIMO dan MISO Surabaya-Malang

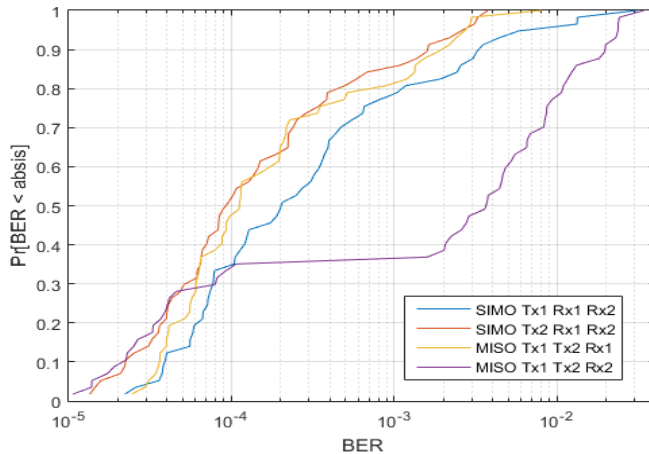
Dari tabel perbandingan BER yang terdapat pada bagian lampiran D.10, maka dapat dibuat simulasi grafik perbandingan BER antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 sebanyak 57 indeks sampel pada link Surabaya-Malang yang dapat dilihat pada gambar 4.47.

Dari gambar 4.47, dapat dikatakan bahwa tidak begitu jelas perbandingan nilai BER mana yang lebih baik antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Bandung-Surabaya sebanyak 102 indeks sampel tersebut. Oleh karena itu, digunakanlah simulasi grafik CDF BER sebagai alternatif, yang dihasilkan melalui tabel CDF atau tabel fungsi kerapatan kumulatif, yang terdapat di bagian lampiran D.11, antara link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang, yang dapat dilihat pada gambar 4.48.



**Gambar 4.47** Perbandingan BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang





**Gambar 4.48** Perbandingan Grafik Fungsi Kerapatan Kumulatif BER dengan Modulasi BPSK Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

Dari gambar 4.48, saat nilai *ratio probability*nya dari 0 sampai sekitar 0.29, nilai BER MISO 2 lebih kecil dibandingkan dengan nilai BER SIMO dan MISO yang lain. Namun, saat nilai *ratio probability*nya dari 0.3 sampai 1, nilai BER MISO 2 menjadi yang terbesar dibandingkan dengan nilai BER SIMO 1, SIMO 2, dan MISO 1. Serta, saat bersamaan, nilai BER SIMO 2 relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai BER SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2.

Secara keseluruhan dari nilai tabel maupun simulasi grafik dari gambar 4.47 dan 4.48, dapat diketahui nilai rata-rata maupun standar deviasinya melalui tabel 4.24 berikut.

**Tabel 4. 24** Perbandingan Rata-Rata dan Standar Deviasi BER Link SIMO 1, SIMO 2, MISO 1, dan MISO 2 pada Link Surabaya-Malang

	BER			
	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
Rata-Rata	0,00168	0,000477	0,000619	0,006395
Standar Deviasi	0,004728	0,000876	0,001281	0,007986

Dari tabel 4.24 tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata maupun standar deviasi BER link SIMO 2 ( Tx2 Rx1 Rx2 ) lebih baik dan lebih kecil dibandingkan dengan link SIMO 1, MISO 1, dan MISO 2 pada link Surabaya-Malang.

#### 4.5 Sintesis

Berdasarkan hasil analisis dari pengolahan data pada subbab sebelumnya, didapatkan hasil bahwa sistem komunikasi HF dengan skema metode SIMO memiliki nilai SNR dan BER yang paling baik dibandingkan dengan skema metode SISO dan MISO. Ini berarti, bahwa menggunakan konfigurasi skema metode SIMO 1x2, kualitas informasi yang diterima pada bagian *receiver* semakin baik. Jika dilihat dari nilai respon kanal pada link Bandung-Surabaya maupun Surabaya-Malang, baik pada kanal  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ , dan  $h_{22}$ , mempunyai nilai respon kanal yang berbeda satu sama lain. Apabila semakin besar nilai magnitudo dari respon kanal tersebut, maka nilai SNR semakin besar dan nilai BER semakin kecil. Itu terlihat dari hasil pengukuran bahwa waktu pengukuran pada siang dan malam hari berpengaruh pada kepadatan ionisasi dan kerapatan elektron pada lapisan ionosfer yang digunakan untuk memantulkan sinyal yang dikirim, dan faktor lainnya, sehingga juga berpengaruh terhadap nilai yang dihasilkan.

Dari hasil perhitungan SNR, dapat dikatakan bahwa SNR skema metode konfigurasi SIMO lebih besar dibandingkan dengan skema metode yang lain, dengan rata-rata keseluruhan SNR sebesar 55,8761 dB pada link Bandung-Surabaya dan 36,7926 dB pada link Surabaya-Malang. Jika dibandingkan dengan skema metode SISO yang mempunyai rata-rata keseluruhan SNR sebesar 37,4367 dB pada link Bandung-Surabaya dan 22,2869 dB pada link Surabaya-Malang, maka terjadi kenaikan nilai SNR sebesar 14,51-18,44 dB. Kemudian, jika dibandingkan dengan skema metode MISO yang mempunyai rata-rata keseluruhan SNR sebesar 47,2306 dB pada link Bandung-Surabaya dan 30,0896 dB pada link Surabaya-Malang, maka terjadi kenaikan nilai SNR sebesar 6,7-8,7 dB.

Sedangkan, Dari hasil perhitungan BER, dapat dikatakan bahwa BER skema metode konfigurasi SIMO lebih kecil dibandingkan dengan skema metode yang lain, dengan rata-rata keseluruhan BER sebesar  $1,3095 \times 10^{-4}$  pada link Bandung-Surabaya dan  $1,0785 \times 10^{-3}$  pada link Surabaya-Malang. Jika dibandingkan dengan skema metode SISO yang mempunyai

rata-rata keseluruhan BER sebesar  $2,0252 \times 10^{-3}$  pada link Bandung-Surabaya dan 0,0111 pada link Surabaya-Malang, maka terjadi penurunan nilai BER sebesar 10,3-15,5 kali lipat penurunan. Kemudian, jika dibandingkan dengan skema metode MISO yang mempunyai rata-rata keseluruhan BER sebesar  $4,11 \times 10^{-4}$  pada link Bandung-Surabaya dan  $3,507 \times 10^{-3}$  pada link Surabaya-Malang, maka terjadi penurunan nilai BER sebesar 3,1-3,2 kali lipat penurunan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis data sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Pengambilan respon impuls kanal Bandung-Surabaya dan Surabaya-Malang menggunakan waktu yang menyesuaikan kondisi ionosfer dan frekuensi kerja yang berbeda;
- 2) Rata-rata SNR terbesar pada link Bandung-Surabaya, yaitu sebesar 59,01612 dB pada konfigurasi skema metode SIMO;
- 3) Rata-rata SNR terbesar pada link Surabaya-Malang, yaitu sebesar 39,93415 dB pada konfigurasi skema metode SIMO;
- 4) Rata-rata BER terkecil pada link Bandung-Surabaya, yaitu sebesar  $8,99 \times 10^{-5}$  pada konfigurasi skema metode SIMO;
- 5) Rata-rata BER terkecil pada link Surabaya-Malang, yaitu sebesar 0,000477 pada konfigurasi skema metode SIMO;
- 6) Sistem komunikasi HF dengan konfigurasi SIMO memiliki peningkatan SNR sebesar 6,7-18,44 dB dan penurunan BER sebesar 3,1-15,5 kali lipat;
- 7) Konfigurasi skema metode SIMO dengan antenna pemancar Tx2 dan antenna penerima Rx1 dan Rx2 memiliki kinerja performa yang lebih baik dibandingkan dengan link SISO, SIMO (Tx1 Rx1 Rx2), dan MISO berdasarkan nilai rata-rata SNR dan BER.

#### **5.2 Saran**

Dalam melakukan pengembangan sistem komunikasi HF SIMO 1x2, dapat disarankan sebagai berikut.

- Melakukan pengukuran lebih lanjut dengan mengambil jumlah dan kondisi data pengambilan data yang lebih banyak, baik pada link yang berbeda maupun yang sama;
- Mencari metode peningkatan SNR dan penurunan BER pada sistem komunikasi HF.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, 3rd ed. Hoboken, NJ: J. Wiley, 2005.
- [2] F. H. Raab dkk., “HF, VHF, and UHF systems and technology,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 3, hlm. 888–899, Mar 2002.
- [3] <https://www.britannica.com/science/ionosphere>. diakses tanggal : 28 November 2017.
- [4] Mcnamara, L.F. 1991. *The Ionosphere: Communication, Surveillance, Direction Finding*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.
- [5] K. Siwiak, *Radiowave propagation and antennas for personal communications*, 3rd ed. Norwood, MA: Artech House, 2007.
- [6] S. R. Saunders dan A. Aragón-Zavala, *Antennas and propagation for wireless communication systems*, 2nd ed. Chichester, England ; Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons, 2007.
- [7] Sujeet Patole, “Presentation on Alamouti Scheme.” Unpublished, 2013.
- [8] A. Pandey, R. Ahmad, dan D. P. Singh, “Comparison of Wireless MIMO System Under Alamouti’s Scheme and Maximum Ratio Combining Technique,” *Int. J. Image Graph. Signal Process.*, vol. 5, no. 2, hlm. 31–37, Feb 2013.
- [9] *Radio System Design for Telecommunications*. Wiley, 2007.
- [10] J. G. Proakis dan M. Salehi, *Digital communications*, 5th ed. Boston: McGraw-Hill, 2008.
- [11] B. Sklar, *DIGITAL COMMUNICATIONS Fundamentals and Applications*. Tarzana, California: Prentice Hall P T R.
- [12] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. 2008.
- [13] T. Agustinah, “Probabilitas dan Proses Stokastik,” hlm. 147.
- [14] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.
- [15] R. S. Elliott, *Antenna theory and design*, Revised ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2003.
- [16] *IEEE Standard Test Procedures for Antennas*, IEEE Std 149–1979, published by IEEE, Inc., 1979, distributed by Wiley
- [17] <http://technews365.info/intersymbol-interference/#prettyPhoto>. diakses pada tanggal : 10 Juli 2018
- [18] *Microwave Journal*, Vol. V, No. 3, March 1962

- [19] B. . Witvliet, “*Near vertical incidence skywave: interaction of antenna and propagation mechanism,*” University of Twente, Enschede, 2015.
- [20] K. Pahlavan dan A. H. Levesque, *Wireless information networks*, 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.



## LAMPIRAN

### A. Lembar Pengesahan

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

09 FEB 2018

Nama Mahasiswa  
Nomer Pokok  
Bidang Studi  
Tugas Diberikan  
Dosen Pembimbing

: Rizki Arvianta  
: 07111440000185  
: Telekomunikasi Multimedia  
: Semester Genap Th. 2017/2018  
: 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D  
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Judul Tugas Akhir

: Analisis Kinerja Sistem Komunikasi High Frequency (HF) SIMO 1x2 dengan Skema Maximum Ratio Combining (High Frequency Communication System Performance Analysis of SIMO 1x2 With Maximum Ratio Combining Scheme)

#### Uraian Tugas Akhir :

HF mempunyai *range* frekuensi dari 3-30 MHz dengan panjang gelombangnya sekitar 10-100 m yang berguna untuk komunikasi jarak jauh dengan jarak komunikasinya sekitar 150 sampai ribuan Km di seluruh dunia dengan memanfaatkan lapisan ionosfer untuk memantulkan gelombang menuju belahan bumi tanpa menggunakan relay satelit. Transmisi ionosfer menyediakan saluran pelemahan yang relatif kecil yang memungkinkan propaganda di seluruh dunia. Sistem HF membutuhkan pemancar, antena sederhana, dan tidak memerlukan eksternal infrastruktur. Link HF dapat dengan mudah dibangun dari jarak lokasi yang jauh dan dapat digunakan untuk tempat bencana alam. Propagasi ionosfer dapat membuat lapisan ionosfer melintang dari jarak 150-650 Km untuk propagasi HF jarak jauh. Namun, lapisan ionosfer dipengaruhi oleh waktu, lintang, musim, dan kondisi matahari. Karena beberapa kondisi yang fluktuatif tersebut, maka diperlukannya suatu metode SIMO 1x2 dengan skema MRC yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas kinerja sistem komunikasi di penerima agar data informasi yang diterima maksimum. Pada sisi pemancar dan penerima masing-masing memiliki 1 antena dan 2 antena untuk metode *Single Input Multi Output* (SIMO). Proses evaluasi kinerja sistem komunikasi HF dengan skema MRC dapat memperhitungkan parameter SNR (*Signal to Noise Ratio*), *Bit Error Rate* (BER), *Probability Error*, serta frekuensi pada receiver.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D

  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

Nip: 197011111993031002


Nip. 196109031989031001

Mengetahui,

Menyetujui,

Ketua Program Studi S1

Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi

  
Dedet C. Riawan, ST, M.Eng Ph. D.

  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D

Nip : 1973111192000031001

Nip. 197011111993031002

## B. Script Matlab SNR dan BER

### SNR Bandung-Surabaya

```
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BA3:BA104');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BB3:BB104');
plot(X,Y,'-r');
hold on;
grid on;
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BC3:BC104');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on;
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BD3:BD104');
plot(X,Y,'-r');
hold on;
grid on;
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BE3:BE104');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on;
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BF3:BF104');
plot(X,Y,'r');
hold on;
grid on;
```

```

X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BG3:BG104');
plot(X,Y,'-g');
hold on;
grid on;
X= 1:102;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BH3:BH104');
plot(X,Y,'k');
grid on;
axis([1 102 9 97]);
xlabel ('Indeks Sampel');
ylabel ('SNR (dB)');
hold off;

```

### **CDF SNR Bandung-Surabaya**

```

Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BA3:BA104');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BB3:BB104');
cdfplot(Y2);
hold on;
Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BC3:BC104');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BD3:BD104');
cdfplot(Y2);
hold on;
Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BE3:BE104');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BF3:BF104');

```

```

cdfplot(Y2);
hold on;
Y3= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BG3:BG104');
cdfplot(Y3);
hold on;
Y4= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','BH3:BH104');
cdfplot(Y4);
xlabel ('SNR (dB)');
ylabel('Pr[SNR < absis]')

```

### **BER BPSK Bandung-Surabaya**

```

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB1 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AC3:AC104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB1)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB1(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

```

```

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB1/10);
theoryBer1 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB2 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AD3:AD104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB2)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
    0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB2(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB2/10);
theoryBer2 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols

```

```

% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB3 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AE3:AE104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB3)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
    dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB3(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB3/10);
theoryBer3 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB4 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AF3:AF104');

```

```

for ii = 1:length(Eb_N0_dB4)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
    0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-(Eb_N0_dB4(ii)/20))*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB4/10);
theoryBer4 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB5 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AG3:AG104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB5)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
    0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition

```

```

y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB5(ii)/20)*n;

% equalization
yHat = y./h;

% receiver - hard decision decoding
ipHat = real(yHat)>0;

% counting the errors
nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB5/10);
theoryBer5 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB6 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AH3:AH104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB6)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB6(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

```



```

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB6/10);
theoryBer6 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB7 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AI3:AI104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB7)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
0dB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10.^(-Eb_N0_dB7(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB7/10);

```

```

theoryBer7 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold on;

N = 10^6; % number of bits or symbols
% Transmitter
ip = rand(1,N)>0.5; % generating 0,1 with equal probability
s = 2*ip-1; % BPSK modulation 0 -> -1; 1 -> 0

Eb_N0_dB8 = xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan
snr db\respon kanal bdg-sby.csv','respon kanal bdg-sby','AJ3:AJ104');

for ii = 1:length(Eb_N0_dB8)

    n = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % white gaussian noise,
    OdB variance
    h = 1/sqrt(2)*(randn(1,N) + 1i*randn(1,N)); % Rayleigh channel

    % Channel and noise Noise addition
    y = h.*s + 10^(-Eb_N0_dB8(ii)/20)*n;

    % equalization
    yHat = y./h;

    % receiver - hard decision decoding
    ipHat = real(yHat)>0;

    % counting the errors
    nErr(ii) = size(find((ip- ipHat)),2);

end

EbN0Lin = 10.^(Eb_N0_dB8/10);
theoryBer8 = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1)));
hold off;

```

### **CDF BER BPSK Bandung-Surabaya**

```

X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','A3:A104');

```

```

Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','B3:B104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','C3:C104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','D3:D104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','E3:E104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','F3:F104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;

```

```

grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','G3:G104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','H3:H104');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK BDG-SBY.csv','BPSK BDG-SBY','J3:J104');
semilogx(X,Y);
grid on;
axis([2*10^-7 5*10^-3 0 1]);
xlabel ('BER');
ylabel('Pr[BER < absis]');
hold off;

```

### **SNR Surabaya-Malang**

```

X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BA3:BA59');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BB3:BB59');
plot(X,Y,'-r');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BC3:BC59');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on;
X= 1:57;

```

```

Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BD3:BD59');
plot(X,Y,'-r');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BE3:BE59');
plot(X,Y,'-b');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BF3:BF59');
plot(X,Y,'r');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BG3:BG59');
plot(X,Y,'-g');
hold on;
grid on;
X= 1:57;
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BH3:BH59');
plot(X,Y,'k');
grid on;
axis([1 57 -9 63]);
xlabel ('Indeks Sampel');
ylabel ('SNR (dB)');
hold off;
legend('SIMO Tx1 Rx1 Rx2','SIMO Tx2 Rx1 Rx2','MISO Tx1 Tx2
Rx1','MISO Tx1 Tx2 Rx2');
CDF SNR SBY-MALANG
Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BA3:BA59');
cdfplot(Y1);
hold on;

```

```

Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BB3:BB59');
cdfplot(Y2);
hold on;
Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BC3:BC59');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BD3:BD59');
cdfplot(Y2);
hold on;
Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BE3:BE59');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BF3:BF59');
cdfplot(Y2);
hold on;
Y3= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BG3:BG59');
cdfplot(Y3);
hold on;
Y4= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BH3:BH59');
cdfplot(Y4);
xlabel ('SNR (dB)');
ylabel('Pr[SNR < absis]')

```

### **CDF BER BPSK Surabaya-Malang**

```

Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BA3:BA59');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BB3:BB59');
cdfplot(Y2);
hold on;

```

```

Y1= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BC3:BC59');
cdfplot(Y1);
hold on;
Y2= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\respon kanal.csv','respon kanal','BD3:BD59');
cdfplot(Y2);
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','E3:E59');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','J3:J59');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','F3:F59');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','J3:J59');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','G3:G59');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','J3:J59');
semilogx(X,Y);
hold on;
grid on;
X= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','H3:H59');
Y= xlsread('C:\Users\Notbook\Documents\simulasi ebno dan snr
db\BPSK MLG-SBY.csv','BPSK MLG-SBY','J3:J59');
semilogx(X,Y);
grid on;
axis([10^-5 4*10^-2 0 1 ])
xlabel ('BER');
ylabel('Pr[BER < absis]');
hold off;

```

### C. Link Bandung-Surabaya

#### C.1 Hasil Respon Kanal Link Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	h11	h12	h21	h22
	kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
1	10.452337 2416986 + 14.034119 5077030i	- 0.9837257 87597763 + 2.7025805 9050329i	- 0.4123385 69140707 + 2.3279260 9587059i	2.9032978 8072262 - 2.3658088 7957686i
2	- 15.914301 4224547 + 19.127685 9901187i	- 2.2069180 2276857 - 1.1822051 8985483i	1.7858161 7943567 - 0.0595347 57615852 5i	- 2.4919517 6345566 + 0.2250430 05830164i
3	4.7767098 8697200 + 4.4277027 0158282i	- 0.1190332 66275394 - 1.6116068 6826037i	- 0.4690391 21927837 + 1.2316639 3657979i	4.1420288 2243916 - 2.7217452 9171599i
4	0.4673140 00884663 + 4.5228655 0297427i	2.7507559 1974360 - 5.6790647 2245000i	- 0.5177528 22657814 + 2.1386366 9584002i	- 2.8407799 4792023 - 3.8103771 3812828i
5	0.0361488 135653030 -	- 1.6357672 8063208 +	- 1.1356180 5147414 +	- 1.7574088 2154871 -



	0.6365402 19833653i	0.8676988 29257324i	0.7391844 09434836i	1.2237639 8878849i
6	- 0.6181764 53461941 + 0.9862491 90566055i	- 9.3954782 0265021 - 2.3413529 7246457i	0.4531286 75945047 - 0.3999824 81032062i	- 0.4812296 82550247 - 0.4744797 95696089i
7	2.0108439 3989466 + 0.9904904 78639621i	1.6545905 6085910 + 0.5210599 80575426i	- 1.2039650 9875448 + 0.7682302 47746269i	0.3293201 56697871 - 0.8497315 80326196i
8	- 7.7431047 4008379 - 1.2397354 2335265i	3.1306531 0289540 - 4.8610723 7203873i	- 0.4704779 38649343 + 0.0348964 84593096 7i	0.4334915 79849798 - 0.6465633 19738451i
9	2.8568869 1366022 + 3.5581276 1595706i	- 20.344648 2886119 - 1.6177237 0748518i	- 0.3698707 96900667 + 0.1469166 63511106i	0.1851333 94995245 + 1.1093803 0018177i
10	6.4793217 7545599 + 11.274598 8917407i	- 2.7419208 2601941 - 29.698700 1160712i	- 0.1553011 61457907 + 1.1081014 5037720i	- 0.1682099 37876373 - 1.3696525 2286278i

11	0.0086233 154168464 7 - 1.6613201 2713468i	5.7307608 6802578 + 12.324262 8814380i	0.1001981 17846464 + 0.0513323 55404439 6i	- 0.2525887 84704778 - 0.3171902 07161699i
12	- 9.8830259 4868506 - 0.9170873 89034934i	- 10.989821 1077474 + 2.2096584 4200016i	0.3006620 12755346 - 0.1337077 79592182i	0.7160116 19432396 + 0.0721875 31613157 6i
13	- 0.0861864 642062580 - 0.1127266 60280936i	1.1199043 6788438 - 16.467240 8904915i	- 0.1703064 97592983 + 1.9909559 1344132i	0.3551482 73240634 - 0.5776137 96610863i
14	- 0.5950771 82815073 + 3.7327518 1816247i	- 7.0528893 5548216 - 31.185498 1414118i	- 0.1451104 50012533 - 0.1136784 88500115i	0.4781279 65843238 + 1.1510952 6828674i
15	- 2.2382708 1328062 + 2.6613419 6598715i	34.674591 8072099 + 12.826866 1881077i	- 0.3422553 30937319 + 0.6166313 37214434i	- 0.7245561 93425913 + 0.7609594 08965868i
16	- 2.0887885 5143026 -	7.3420716 1046847 -	1.0232460 1293073 -	0.2277873 42065637 +

	3.5553778 2645067i	12.196024 9638297i	0.1792371 17989656i	0.5360625 64123360i
17	- 0.6752107 70006289 + 3.8977495 4328503i	17.025185 8472814 - 17.463321 9772630i	0.9311748 64990814 - 0.2252176 42226609i	- 0.5491855 63155730 + 1.0035303 1792721i
18	5.7761836 5273324 - 4.3777779 0789553i	- 2.3122659 2282103 - 2.7685960 9134379i	- 1.0144096 2601680 + 0.4621886 52092904i	0.1860514 41611719 + 0.5057655 06336160i
19	- 5.1279758 2663042 - 4.6407960 5037152i	- 9.1992409 0640035 - 3.4869194 3557728i	- 0.2485296 09926617 + 0.3539591 16387464i	- 0.4485820 17618589 - 1.1941337 7846720i
20	0.8593256 85640040 - 1.7303618 8582633i	3.7841321 5864624 + 25.711293 6018459i	- 0.1620778 24517802 - 0.1197258 24830984i	- 0.9879157 12750553 - 0.0598173 35623879 2i
21	3.1899690 4585483 + 5.0952583 7367583i	2.2607109 1883472 - 12.021243 9858591i	0.4297836 71255478 - 0.0138854 57256114 3i	0.4838185 07570450 + 0.1261938 85515829i

22	4.4183800 1851283 + 5.7242392 0421129i	- 18.398163 2511019 - 12.822867 2085396i	0.1752857 02048301 - 0.5664632 47384878i	0.6660956 08343144 - 0.4413800 92825497i
23	1.5770195 2326399 - 0.2736933 46191870i	24.240409 3739492 - 10.433977 6107458i	0.8090977 21645406 + 0.8916668 21167830i	0.4013486 80261346 - 1.1637974 9529997i
24	- 3.3085471 8649701 + 0.6663993 64919059i	12.706266 8969044 - 36.175931 1943847i	- 0.1048217 77960325 + 0.3569518 26291594i	- 0.3582608 97151033 - 0.0243134 20407543 8i
25	3.6563299 7312924 - 2.2835582 5373387i	- 0.8390835 55186283 + 0.4382693 29667834i	- 0.2474713 29937707 + 1.0550712 2178585i	0.2746881 17649658 + 0.4833168 14526620i
26	- 0.8166886 51200369 + 3.0887738 6415801i	2.0855083 4300519 + 20.025466 6817270i	- 0.7259628 18457214 + 0.1715123 98411904i	0.2628283 60555104 - 1.3871263 1624606i
27	4.2602977 6481763 + 0.5205186 94682009i	4.1428875 3425237 + 4.5882289 5734138i	0.0990271 47830414 0 +	0.2029821 90107424 -

			0.5034928 26400453i	1.0219115 1027142i
28	- 1.9716889 0577193 - 2.9201866 6059051i	- 1.5111846 4001257 - 8.6797132 7474333i	- 0.1550925 94512394 + 0.6305244 08807657i	0.7416517 69983597 - 0.5886801 48736814i
29	5.3660754 9939925 + 9.7183020 5847366i	28.150087 4685982 - 20.807481 9420888i	- 0.6313912 00414502 - 0.2982988 03111975i	- 0.1095130 99686408 + 0.8518520 93459328i
30	0.9928712 84279400 + 1.5050269 5924383i	- 24.148824 3193411 + 5.0103609 2224115i	0.5183570 81712189 + 0.7507254 07347652i	- 0.2378169 81585685 - 1.2088611 7736990i
31	- 0.6562437 36885089 - 3.0916753 6420587i	- 26.623147 6509467 - 6.8235310 1315677i	0.4687793 47189382 + 0.5307535 06056226i	- 0.0844440 82748471 0 - 1.1110337 3034022i
32	- 5.0068469 4225780 + 0.7572183 00615057i	- 4.7866346 6145876 + 20.381991 4323483i	0.5762903 91805551 + 0.0863609 89247662 7i	- 0.2427055 34748716 - 1.5648565 7307835i

33	1.2732161 0505969 + 0.2701775 82291225i	16.286008 7262854 + 5.7265615 6673818i	- 0.5367418 21465504 + 0.4972844 62463358i	- 0.3334323 42965425 - 0.0567673 79894196 4i
34	- 0.6705630 23667655 + 3.8781250 0233447i	- 19.832379 5606809 + 7.7853339 1762875i	0.0880920 26252207 9 - 1.0092529 9353079i	0.4422342 33869243 + 0.7870192 06390744i
35	- 0.3430089 04375504 - 7.2287643 3265687i	- 0.0395733 689478588 - 18.337563 7709614i	- 0.5607427 52414617 + 1.0428110 5157816i	0.7893920 22889152 + 0.3875801 53575676i
36	2.4791479 3337408 - 2.6651639 7736698i	20.760292 2457382 + 7.1175527 8714199i	- 1.5853205 1677125 + 0.3886392 53294320i	0.4182508 30152518 + 0.2590950 09306332i
37	- 6.4485376 6929763 - 4.7189935 3921155i	- 7.0611152 3760699 + 4.7209708 6626615i	0.8100166 74595448 + 0.0923471 00832291 9i	- 0.1373750 62941552 - 0.1063438 09839760i
38	- 6.4485376 6929763 -	- 7.0611152 3760699 +	0.8100166 74595448 +	- 0.1373750 62941552

	4.7189935 3921155i	4.7209708 6626615i	0.0923471 00832291 9i	- 0.1063438 09839760i
39	- 3.5451659 3620990 + 3.2520509 4051452i	- 8.6278567 5672314 - 2.5209491 5779296i	0.0507127 02826535 5 + 0.5662245 77259261i	1.3541598 5515632 - 0.8145337 63423844i
40	- 0.5252505 61508732 - 0.0357046 053342700 i	- 7.7501688 8982926 + 2.6454246 1779428i	0.3208994 17145158 + 0.5643979 91550823i	0.3718490 31578571 - 0.9386168 67195524i
41	17.432957 0210279 - 5.0731443 2045404i	2.6461610 4140144 - 5.8203572 8855733i	- 0.4466140 91067524 - 0.0308669 83149360 2i	- 0.0294670 73056044 0 + 0.1063906 06829877i
42	6.3091394 3551697 - 19.190805 1053750i	- 5.0793943 8865300 + 4.3169721 6312984i	0.3315617 55606642 - 0.2832645 25302534i	0.4336514 67470156 + 1.0610099 5766698i
43	14.598967 0249069 + 14.309628 6537211i	- 1.0023255 4366600 + 2.5532268 7961083i	- 0.2773979 08051445 + 0.6789952 38726118i	- 0.8541796 78689011 + 0.4791749 85419165i

			-	-
			0.3387260	0.2412110
			11500455	33675492
			+	+
	8.4003034	2.0890359	0.0299211	0.0157379
	3670576 +	9508863 +	89814518	00661470
	3.9308540	10.390936	1i	2i
44	4760863i	6372522i		
	-	-	-	-
	3.7938148	7.5790103	1.3066512	0.7638808
	8463976 -	6499074 +	7616832 +	79739309
	13.440575	3.6616505	0.4181780	-
45	7142274i	5013754i	14708316i	1.2941780
				0498918i
		-	-	-
	1.3022717	13.775521	1.8334367	0.6062260
	7171352 +	7133520 +	2635688 -	24361855
	2.1254931	6.4872649	0.7201404	-
46	5019187i	2004858i	82570630i	0.0751183
				04084709
				0i
			-	
	25.430398	21.523103	1.3849564	1.1081131
	7708204 -	5528473 -	6545691 +	8819264 -
	7.4798861	0.7782314	0.0698130	0.2342601
47	4518092i	86653309i	68924550	76859844i
			2i	
	-		0.4254691	
	21.368115	2.6641641	48577997	1.3963708
	3750697 -	6243414 +	-	5589434 -
	28.427545	2.2673475	0.9451904	0.3389721
48	6310896i	6233034i	64007046i	02964407i
	6.0284549	-	1.3567485	1.2451447
49	8901174 -	9.5398403	0447868 +	8172155 -



	23.789315 4887167i	5060223 + 4.9491980 5931483i	1.2476409 4474352i	0.8755687 17806669i
50	- 30.725420 0980026 - 1.9209094 2421825i	- 10.492978 5202186 + 14.691308 0587337i	- 0.0485000 97152920 9 + 0.8080518 51579575i	- 0.6521452 76673797 - 1.2386872 2112095i
51	38.326406 9666460 - 13.910405 8232750i	20.192006 0347507 + 5.4096006 5817101i	0.1669306 66701526 + 0.4715210 43503828i	- 0.3130751 55600617 + 1.0094072 5617068i
52	- 2.5727299 3192466 - 27.108963 0744769i	- 26.752217 3277281 - 48.355854 7670403i	- 0.2637875 78166948 + 0.5451426 08957627i	0.5885285 25324752 + 0.5844478 60620803i
53	- 5.9722005 8308584 - 21.536912 9225427i	12.715504 3890390 + 6.9868369 1434768i	0.6176683 94431662 - 0.0717297 55725792 3i	0.4625749 67748226 + 0.7512461 53380193i
54	- 37.716046 6147165 + 11.637576 8519645i	12.708826 4829230 + 7.7267159 0881425i	- 0.5630348 02704347 - 0.1800578 99965661i	0.2450427 29587347 - 0.4034429 28369143i

55	11.873835 8097526 - 18.345058 6705806i	4.6273646 8758183 - 20.782758 9951236i	0.1053802 98340394 - 0.5019628 28430934i	- 0.7153251 47559650 - 0.4419866 96019532i
56	0.6465609 55516319 + 0.0803292 902479420 i	- 0.4883585 69201639 - 0.7482297 88768458i	- 0.6811692 12938726 - 2.9568142 5847989i	- 5.3121943 2846122 - 2.5796750 4261877i
57	0.1819433 81935245 + 0.2538797 62668358i	0.0778074 210498827 - 0.2910292 46918086i	- 13.582357 1123864 - 6.8016176 4286883i	4.8181673 6932393 - 3.3507235 2773961i
58	- 0.2607097 85398610 - 0.7544347 04838344i	- 0.9254358 74487153 - 0.1961667 23022182i	- 2.6868291 9215155 - 4.3540036 6701475i	3.4267160 7936118 + 2.8031591 3855861i
59	- 0.7464594 26127506 + 0.0975236 835057641 i	- 0.9651068 63326437 + 0.8201388 23996627i	8.6301472 6638099 + 5.2613312 8046330i	- 5.3938795 2653715 + 4.2622509 3097992i
60	0.4856688 73898615 +	- 0.3921365 86758217 -	0.2365484 90820826 -	- 3.2281537 7485000 -

	0.9518182 46109248i	0.4792938 47174766i	3.1351588 6790047i	9.2024607 5297559i
61	0.2738661 13012704 - 0.7803861 19505548i	1.0824114 2594821 - 0.1499577 39763525i	3.8069014 4028617 - 2.8635194 9564254i	- 0.9599658 38507989 + 5.1424753 4798015i
62	0.2895608 02875230 + 0.0626273 671975925 i	- 0.0251102 564541238 - 0.4617138 00052898i	- 4.2725461 8702887 + 12.005829 8137191i	- 6.1786054 6434283 + 6.5831057 8508564i
63	0.7945301 14170263 + 0.0440577 432520508 i	0.8220769 63638731 + 1.0368738 7590130i	14.080477 4681617 - 2.5687368 9880666i	2.1221949 8164797 + 4.4144564 8782608i
64	- 0.5573125 92154397 - 0.7859879 31629778i	0.0992913 604940981 + 0.4809032 94552068i	- 3.2497700 5047010 + 5.2555071 0029218i	1.3410910 9584529 + 9.0974102 7104309i
65	- 0.6749790 88013537 + 1.1434772 4934117i	0.1850733 99799856 - 0.0394576 319967838i	- 8.7258066 9824307 - 1.4779579 8167510i	- 5.9008607 3567969 + 4.6014705 1787631i
66	- 0.1736973	0.5523363 13244015 -	0.3268723 97229922	- 0.6262249

	91010640 - 0.6357086 14621953i	0.2045675 90093057i	+ 0.3304783 26649281i	88196886 + 0.6478992 65608549i
67	- 0.0076198 751364926 5 - 0.3606024 67151719i	- 0.2155118 25667461 + 0.2714011 32623539i	0.7328647 14074434 + 0.1928223 81488802i	- 0.3594866 44761117 + 0.9177162 56195795i
68	0.1981459 25737904 + 1.2694758 9430859i	0.2395263 13498129 + 1.4382613 5031378i	0.0269554 77823296 9 - 1.2757647 3589351i	- 0.3585919 51345830 + 0.0301195 77560834 0i
69	0.1041014 21938237 + 0.7527028 62922997i	- 0.0177084 682756260 + 1.3373401 4072606i	- 0.9727362 18652608 - 1.7457129 2480395i	0.3967232 30469711 + 0.0693137 92874421 6i
70	0.7318770 52760988 - 0.7849581 63405662i	- 0.2299984 11600723 + 0.5574668 34821419i	0.1533445 81991389 - 0.6929070 20033354i	- 0.0268079 19528868 9 + 0.3760073 37984079i
71	0.2017904 61750780 +	- 0.6712032 70723602 +	17.553017 7354057 - 1.4625309 7058985i	- 6.0149050 2843330 +

	0.5059174 33806737i	0.1013005 79316833i		6.2602975 5847184i
72	0.5175648 28669125 - 1.0303167 8125261i	- 0.6809504 86366926 + 0.3543182 39511221i	- 14.172762 0580333 + 33.784680 7056727i	7.6765486 3714262 - 2.6257642 2218144i
73	- 0.7969470 94464819 + 0.3889077 17215438i	- 0.0734338 032511375 - 0.7634893 97111565i	10.093989 4032207 - 40.703818 2687070i	- 1.0878098 1243941 + 5.4278515 7572456i
74	- 0.5170723 35453330 + 0.5592195 85795224i	- 0.9679709 86656957 - 0.0072084 420022476 3i	24.563021 9208176 - 23.956446 6321625i	5.4563275 7556289 - 9.2202556 8771690i
75	1.0752901 5957554 - 0.1458163 94595507i	0.4738500 09912821 - 1.1386416 9695843i	25.362384 1963757 - 3.4610327 0974648i	5.6469664 2035542 + 5.0565895 6304491i
76	- 0.5980501 18985278 + 0.1464065 81145862i	1.6604114 4952754 - 0.4591447 01926623i	- 0.6450027 83554547 - 0.1859338 78746606i	- 0.0383988 92009985 5 - 0.4687714 67617220i
77	0.1470831 55905073 +	- 2.0181414 7015072 -	0.2873295 51892987 + 0.0183716	0.5530754 68152648 -

	0.6605935 36935933i	0.3275895 81694448i	71834176 8i	0.3499922 36799112i
78	- 0.3364342 32001527 - 0.1323985 03464058i	2.6411782 9241544 + 1.0863720 1879425i	- 0.3719715 21407030 + 0.2838044 10208956i	0.2431777 44989030 + 0.3386752 02353627i
79	0.4380074 63279517 + 1.6411667 4485456i	2.0321859 6972861 + 0.5453714 96118144i	0.0274210 51705746 4 + 0.0630323 61856802 2i	- 0.5019575 60329351 - 0.7407416 38954285i
80	- 0.5558052 46963722 + 0.5116763 65188615i	- 2.2197321 6091798 - 2.3292307 7190474i	0.3687185 88543660 + 0.6101890 22278222i	- 0.3119223 10458770 + 0.5274834 03421311i
81	- 0.4883159 22925144 + 2.9435490 5619106i	3.9433807 6239629 - 4.9537976 3716665i	- 0.0762808 41697166 2 + 0.0974827 66238339 9i	0.4310016 96082349 - 1.0212164 0543847i
82	0.2463915 14298398 + 0.5434135 56970535i	1.9173231 6648262 + 1.1725435 7803434i	1.0834016 6677079 + 0.0939134 90820800 9i	- 0.4036930 34664143 + 1.4821010 1401388i

83	- 3.5439998 6943825 - 0.2387234 16397090i	- 2.3268670 8809916 - 0.4443646 46491651i	0.0466572 38135988 9 + 0.1994084 51811293i	- 0.1400083 66081104 + 0.8403531 11351123i
84	1.0153401 5008141 - 0.3989725 46840663i	- 7.7725003 2687149 - 0.7132987 71257386i	- 0.9725754 70830830 + 0.7243696 31634799i	- 0.7314750 96834223 + 0.1895885 31732898i
85	1.0357502 0842433 - 1.3115423 4463939i	- 3.4381614 9987339 + 4.1845478 8523145i	0.9140395 80908270 - 0.0642435 03445302 1i	1.0116649 4245062 - 0.4044102 79199343i
86	1.4319063 0087317 + 0.9860331 43803691i	- 5.3433866 9900761 - 4.0316187 9774415i	- 0.8869955 23113148 + 0.0493130 07440995 8i	- 0.3072320 29459585 + 0.5540046 78381348i
87	1.3227327 1277299 + 0.2800939 81137299i	- 5.2446631 7362195 + 3.5944741 4313208i	0.3912588 90491213 + 0.5657272 29821775i	- 2.2195043 5427653 - 0.0668001 66748923 9i
88	- 3.1499338	- 0.7925375	1.1029009 9658610 -	1.0794568 2664613 +

	1616626 + 1.1436492 8056073i	60840606 + 2.3142083 3163515i	0.0364445 48048135 1i	0.6327029 71149662i
89	1.4687247 1552698 - 2.1427434 1932359i	- 1.7765331 4260283 + 4.0846437 7959162i	0.7680370 81705343 + 0.0473843 45740010 8i	- 0.0422642 28082284 2 + 0.4077459 93937702i
90	0.2478930 99573017 + 2.4464499 8765833i	5.1910445 1007861 + 0.5272459 90272975i	0.6286769 97252231 + 0.3103575 62178743i	0.8999639 41241439 + 0.3388667 73640046i
91	- 0.7158349 08606231 - 1.0897461 1597206i	1.7476962 1358985 + 0.3036795 98075690i	- 0.9302841 45629143 + 0.3735310 35560594i	0.8473559 00577810 - 0.0958564 85741619 4i
92	2.3407511 0288198 - 6.6094450 7550606i	1.7271289 2346756 - 4.3224360 0334041i	0.0331394 20478286 8 + 0.5569750 74361979i	- 0.0986822 23302344 9 + 0.2410787 24465941i
93	- 5.6805832 6660626 - 7.0745156 3152457i	- 0.9551486 23109525 - 8.5572888 4995253i	0.6340892 60797008 - 0.2079117 51996240i	0.4659005 77554204 + 0.3313613 40565936i
94	0.2600963 34569469 -	0.5703354 66075170 -	- 0.7739291	- 0.8180457



	0.3175977 60936371i	0.8514785 31729354i	91109415 - 4.3423549 9264196i	71607585 + 1.1030673 2596554i
95	0.8922049 39234735 - 0.2594042 23930768i	- 0.9555474 41688714 - 0.9451324 19646952i	1.0495476 2542018 - 0.8619473 54657176i	2.5926417 0192745 - 0.2859504 86599187i
96	- 0.6860553 12858233 + 1.1981581 0823478i	- 0.9548935 13443597 + 0.0332517 135332284i	- 2.1529813 7819105 + 0.9448896 64456387i	- 0.3259666 33249383 + 0.0820962 18266801 0i
97	- 0.6289590 87746288 - 0.0118564 582610443 i	- 1.8163965 0752697 - 0.0442864 504217517i	1.4600953 2345346 - 1.2489207 8999437i	0.2919938 54868422 + 0.8063714 15572746i
98	- 0.8053981 03729338 - 0.6177798 39971168i	0.2031600 27792468 + 1.6034234 0207593i	1.8756686 9498416 + 1.6115372 1956844i	1.2716599 9065663 - 2.3039310 9571963i
99	- 0.0722786 290637620 - 2.3453508 9204110i	- 0.7247256 15994710 + 2.4537522 9236681i	- 0.0911679 08710429 6 - 3.4000936 4376484i	- 2.3202082 5420782 - 0.5046968 48003913i

100	-	-	-	-
	0.9150270 92747560 - 0.8126667 42903353i	0.9590592 62312225 + 0.7532642 95801832i	0.4417820 77872370 - 0.7618920 08708927i	0.2296026 83353476 - 0.3676755 81006468i
101	-	-	-	-
	1.3519785 0274871 + 0.0614432 738077945 i	2.4475385 2039009 + 0.2891856 21877218i	0.8404162 77885288 + 1.3026834 4371638i	0.2339398 05636148 - 1.0664665 4056438i
102	-	-	-	-
	0.2363524 49661040 + 0.4707146 51970537i	2.5505134 8707553 - 0.3915709 51675816i	1.6495142 5517563 - 1.4366780 8654697i	0.2825052 74189346 - 1.2497490 8315475i

## C.2 Hasil Energy Bit per Noise Ratio SISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
	Eb/No (dB)			
1	49,93955	34,25533	32,55296	36,54878
2	52,99723	33,05074	30,12097	33,04547
3	41,35524	29,24812	27,47738	38,98243
4	38,23378	41,08022	31,92945	38,61835
5	21,16999	30,43055	27,71811	31,69382
6	26,39814	44,79942	20,70588	21,67569
7	32,0904	29,86389	28,17505	24,27278
8	42,96761	40,32088	18,55464	22,90411
9	38,26463	51,27576	17,07694	26,05543

10	47,36077	54,57099	26,10029	27,87651
11	29,48863	47,74405	6,117421	17,2384
12	45,01442	46,07274	15,42567	22,22184
13	8,111345	49,43145	31,09227	21,70507
14	36,62898	55,17517	10,39417	26,99278
15	35,90458	56,43675	22,04644	25,50907
16	37,38482	48,14683	25,4104	20,38522
17	37,02408	52,82327	24,70686	26,24778
18	42,28339	36,22272	26,0227	19,70935
19	41,87667	44,93745	17,80012	27,19379
20	30,7995	53,37493	11,16464	24,98987
21	40,65898	46,8287	17,74875	19,05878
22	42,26349	52,0942	20,53987	23,13099
23	29,16501	53,5086	26,69217	26,88494
24	35,64485	56,75285	16,49074	16,18191
25	37,77064	24,62181	25,77754	19,97897
26	35,16858	51,15822	22,53326	28,07489
27	37,73254	40,90002	19,28389	25,43568
28	36,01885	43,978	21,32839	24,60537
29	45,98691	55,96216	21,96002	23,75759
30	30,19942	52,92056	24,28218	26,89182
31	35,07465	53,86088	22,08209	26,01885
32	39,16889	51,49747	20,38906	29,07214
33	27,36877	49,82195	22,36617	15,66364
34	36,97976	51,64932	25,19255	24,19096
35	42,27043	50,34624	26,54655	23,96343
36	36,30131	51,90669	29,33522	18,91933
37	43,13116	43,66156	23,30564	9,879453
38	43,13116	43,66156	23,30564	9,879453

39	38,72377	44,15323	20,1741	29,05392
40	19,50732	43,34424	21,32736	25,1624
41	50,25985	41,19435	18,09836	5,942982
42	51,18697	41,55678	17,87149	26,26468
43	51,29006	33,84364	22,38721	24,89848
44	44,42521	45,58456	15,70896	12,74351
45	47,98067	43,58273	27,82604	28,61739
46	33,0033	48,73145	30,96781	20,7988
47	53,54708	51,74316	27,91918	26,16097
48	56,09926	35,9567	25,39104	28,22816
49	52,87751	45,70532	30,39085	28,72864
50	54,84609	50,21072	23,24379	28,00106
51	57,28674	51,4842	19,06226	25,55953
52	53,7805	59,92807	20,72368	23,45464
53	52,06474	48,3119	20,95313	23,99085
54	57,00478	48,52724	20,51261	18,55854
55	51,86912	51,64324	19,28059	23,57358
56	21,35816	24,10105	34,72042	40,50441
57	14,97388	14,66024	48,71066	40,45028
58	23,12146	24,59713	39,25848	38,00197
59	22,61292	27,1317	45,17224	41,82439
60	25,65528	20,91704	35,02924	54,86148
61	23,42994	25,84979	38,63815	39,45159
62	14,51433	18,37946	47,1851	44,19162
63	23,09479	27,512	48,19392	38,87989
64	24,75674	18,90136	40,8979	44,35111
65	27,54215	10,61821	44,01834	42,56078
66	21,45728	20,48143	18,42593	24,17441
67	16,22216	15,87481	22,67077	24,95336

68	27,25633	28,35502	27,19673	16,20208
69	22,69415	27,605	31,09314	17,17989
70	25,69315	20,68682	22,10024	16,60532
71	19,80256	21,71451	49,9958	43,85139
72	26,31594	22,78201	56,35788	43,26323
73	24,03582	22,77537	57,5313	39,94297
74	22,71441	24,79678	55,78826	45,67822
75	25,78899	26,90068	53,24312	42,67284
76	20,86692	29,80373	21,6173	18,52724
77	21,68804	31,29135	14,26493	21,39788
78	16,24214	34,19416	18,48184	17,47988
79	29,68129	31,54068	1,800363	24,11408
80	22,64346	35,22984	22,14059	20,82548
81	34,5747	41,10979	6,926298	25,97349
82	20,59388	32,11316	25,80776	28,80777
83	36,08891	32,57041	11,30152	23,68755
84	25,83522	42,92703	26,75433	22,64575
85	29,53994	39,75271	24,32011	25,82389
86	29,88319	41,59272	24,05125	21,11408
87	27,69938	41,14607	21,82891	32,00847
88	35,58318	32,84908	25,93479	27,02591
89	33,37146	38,05489	22,80333	17,33248
90	32,8945	39,42905	21,9955	24,73986
91	27,38387	30,05794	25,10104	23,69592
92	41,99585	38,43725	20,01118	13,39808
93	44,23432	43,77988	21,56591	20,22353
94	17,34538	25,29252	37,9697	27,8348
95	24,441	27,64728	27,73817	33,40677
96	27,8813	24,68362	32,50514	15,61017

97	21,05304	30,26623	30,75165	23,74521
98	25,20902	29,24945	32,94349	33,48371
99	32,48767	33,23921	35,7123	32,59071
100	26,83363	26,80308	23,97632	17,81865
101	27,70769	32,9142	28,88746	25,84251
102	19,51045	33,31308	31,87811	27,23232

### C.3 Hasil *Energy Bit per Noise Ratio* SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
	Eb/No (dB)			
1	50,01811	38,56202	50,05531	38,00538
2	53,01956	36,05841	53,04097	34,83517
3	41,52953	39,42119	41,61468	39,27916
4	39,14759	43,03174	42,89644	39,46177
5	28,58671	34,11826	30,91715	33,15615
6	27,43492	44,82052	44,86172	24,2281
7	33,57008	30,92236	34,12859	29,65851
8	42,98331	40,3989	44,85313	24,26283
9	38,29754	51,28879	51,48761	26,57281
10	47,39314	54,58028	55,32682	30,08888
11	29,50857	47,74792	47,80847	17,56157
12	45,01919	46,09059	48,58604	23,04651
13	31,11408	49,43878	49,43178	31,56562
14	36,6393	55,18176	55,23544	27,08679
15	36,07964	56,44026	56,475	27,12438
16	37,65206	48,15409	48,49675	26,59768
17	37,27161	52,83282	52,93605	28,55561

18	42,38493	36,31859	43,24451	26,93481
19	41,89362	45,00986	46,6816	27,66647
20	30,84648	53,38123	53,39887	25,16624
21	40,68114	46,83595	47,76838	21,46328
22	42,29259	52,09971	52,52379	25,03617
23	31,11256	53,51803	53,52454	29,79992
24	35,6973	56,75323	56,78637	19,34937
25	38,03677	25,90365	37,97603	26,79197
26	35,39908	51,17952	51,26622	29,1441
27	37,79418	41,02171	42,60917	26,37886
28	36,16388	44,02789	44,62253	26,2792
29	46,00406	55,96478	56,37834	25,96145
30	31,18939	52,93139	52,94371	28,79043
31	35,28739	53,86801	53,91794	27,49236
32	39,22603	51,52224	51,74437	29,62372
33	28,56146	49,82362	49,84657	23,20718
34	37,25841	51,65711	51,79504	27,73087
35	42,38516	50,35621	50,97486	28,45458
36	37,09707	51,90888	52,02455	29,71294
37	43,17614	43,66338	46,41475	23,49861
38	43,17614	43,66338	46,41475	23,49861
39	38,784	44,28543	45,24717	29,58249
40	23,52229	43,40975	43,36215	26,66542
41	50,26249	41,19565	50,76754	18,35502
42	51,18899	41,68332	51,63585	26,85186
43	51,29565	34,36478	51,36755	26,83218
44	44,43104	45,58682	48,05376	17,48488
45	48,02238	43,719	49,32642	31,25002
46	35,11403	48,73843	48,84606	31,36664

47	53,55895	51,75515	55,74842	30,13875
48	56,10295	36,63378	56,14108	30,04757
49	52,90194	45,79158	53,63944	32,64909
50	54,84909	50,23675	56,12984	29,25393
51	57,28739	51,49528	58,30034	26,43739
52	53,78264	59,92905	60,87207	25,31067
53	52,0681	48,32793	53,59197	25,74264
54	57,00575	48,53161	57,58139	22,65486
55	51,87151	51,65001	54,76795	24,94755
56	34,91619	40,60271	25,95294	41,52188
57	48,71249	40,46171	17,83019	49,31487
58	39,36292	38,19586	26,93197	41,68581
59	45,19626	41,96935	28,44558	46,82352
60	35,50396	54,86323	26,91294	54,90638
61	38,76712	39,63707	27,81657	42,07419
62	47,18745	44,203	19,8737	48,95163
63	48,20732	39,18581	28,85263	48,67488
64	41,00224	44,36347	25,75939	45,96934
65	44,11502	42,56355	27,62945	46,36072
66	23,21119	25,71947	24,00701	25,19932
67	23,55758	25,45962	19,06226	26,97064
68	30,23693	28,61181	30,85062	27,52908
69	31,67959	27,98196	28,8199	31,26603
70	27,26841	22,11917	26,88494	23,17969
71	49,99995	43,87786	23,87321	50,94042
72	56,36218	43,30193	27,90923	56,56579
73	57,53324	40,02555	26,46146	57,60632
74	55,79039	45,71353	26,88953	56,19229
75	53,25092	42,78631	29,39061	53,60819



76	24,26859	30,11593	30,32581	23,35178
77	22,41055	31,71507	31,74288	22,16614
78	20,5151	34,28573	34,2632	21,01999
79	29,68836	32,26266	33,72004	24,1395
80	25,4096	35,38457	35,46288	24,54292
81	34,58216	41,24088	41,98075	26,02724
82	26,95064	33,77792	32,40895	30,57211
83	36,10331	33,09863	37,68694	23,9313
84	29,32934	42,96754	43,01105	28,17909
85	30,68144	39,925	40,14772	28,14706
86	30,89069	41,63144	41,87623	25,83668
87	28,69893	41,64587	41,33814	32,40638
88	36,03028	33,85839	37,43813	29,52483
89	33,7367	38,09151	39,32639	23,88809
90	33,23397	39,57412	40,30011	26,59124
91	29,40106	30,96087	31,93385	27,46536
92	42,02326	38,45084	43,58157	20,86807
93	44,25775	43,79899	47,02334	23,95668
94	38,00715	29,75739	25,93871	38,37153
95	29,40555	34,42937	29,34385	34,44859
96	33,79184	25,19043	29,58064	32,59302
97	31,19386	31,13976	30,75788	31,54068
98	33,61971	34,87368	30,69338	36,23229
99	37,40294	35,93735	35,88998	37,43644
100	28,64614	27,31979	29,82868	24,91835
101	31,34782	33,69246	34,05879	30,63686
102	32,12286	34,27022	33,49035	33,1592

#### C.4 Hasil SNR SISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
	SNR (dB)			
1	74,79971	43,43128	40,02653	48,01818
2	80,91507	41,0221	35,16255	41,01156
3	57,6311	33,41685	29,87538	52,88547
4	51,38817	57,08106	38,77952	52,15732
5	17,26059	35,78172	30,35684	38,30825
6	27,71689	64,51945	16,33238	18,272
7	39,10141	34,64841	31,27071	23,46618
8	60,85584	55,56237	12,02989	20,72884
9	51,44987	77,47214	9,074488	27,03147
10	69,64216	84,0626	27,12119	30,67364
11	33,89788	70,40872	-12,8445	9,39742
12	64,94946	67,06609	5,771953	19,3643
13	-8,85669	73,78353	37,10515	18,33076
14	48,17857	85,27095	-4,29104	28,90617
15	46,72978	87,79412	19,0135	25,93877
16	49,69025	71,21427	25,74142	15,69106
17	48,96878	80,56716	24,33435	27,41619
18	59,4874	47,36606	26,96601	14,33932
19	58,67395	64,79551	10,52086	29,3082
20	36,51961	81,67048	-2,7501	24,90036
21	56,23857	68,57802	10,41812	13,03818
22	59,44759	79,10902	16,00036	21,1826
23	33,25063	81,93781	28,30495	28,6905
24	46,21032	88,42632	7,902106	7,284442
25	50,46189	24,16423	26,4757	14,87855
26	45,25777	77,23706	19,98713	31,0704
27	50,3857	56,72065	13,4884	25,79198

28	46,95832	62,87662	17,5774	24,13136
29	66,89443	86,84494	18,84066	22,4358
30	35,31946	80,76174	23,48498	28,70425
31	45,06991	82,64238	19,0848	26,95832
32	53,25839	77,91555	15,69874	33,0649
33	29,65816	74,56451	19,65295	6,247904
34	48,88013	78,21925	25,30572	23,30254
35	59,46148	75,61309	28,01372	22,84747
36	47,52324	78,734	33,59105	12,75928
37	61,18294	62,24374	21,5319	-5,32048
38	61,18294	62,24374	21,5319	-5,32048
39	52,36815	63,22708	15,26881	33,02845
40	13,93525	61,6091	17,57534	25,24542
41	75,44031	57,30933	11,11734	-13,1934
42	77,29455	58,03418	10,66359	27,44997
43	77,50073	42,6079	19,69503	24,71757
44	63,77104	66,08973	6,338541	0,407641
45	70,88195	62,08607	30,5727	32,1554
46	40,92722	72,38351	36,85624	16,51822
47	82,01478	78,40693	30,75897	27,24256
48	87,11913	46,83402	25,7027	31,37694
49	80,67564	66,33126	35,70232	32,3779
50	84,6128	75,34206	21,40819	30,92273
51	89,49409	77,88901	13,04513	26,03967
52	82,48161	94,77676	16,36797	21,82989
53	79,05009	71,54443	16,82687	22,90232
54	88,93018	71,97509	15,94584	12,03769
55	78,65885	78,2071	13,4818	22,06777
56	17,63694	23,12271	44,36146	55,92944

57	4,86838	4,241101	72,34193	55,82118
58	21,16354	24,11487	53,43758	50,92455
59	20,14645	29,18401	65,26509	58,56939
60	26,23118	16,75469	44,97909	84,64357
61	21,78051	26,6202	52,19692	53,8238
62	3,949274	11,67954	69,29082	63,30386
63	21,1102	29,94461	71,30846	52,68039
64	24,43409	12,72333	56,71642	63,62283
65	30,00492	-3,84296	62,95729	60,04217
66	17,83518	15,88347	11,77248	23,26943
67	7,36493	6,670244	20,26216	24,82735
68	29,43327	31,63065	29,31407	7,324779
69	20,30892	30,13062	37,10689	9,280401
70	26,30693	16,29425	19,1211	8,131266
71	14,52573	18,34963	74,91222	62,6234
72	27,5525	20,48464	87,63638	61,44707
73	22,99225	20,47136	89,98322	54,80655
74	20,34944	24,51418	86,49713	66,27706
75	26,4986	28,72197	81,40686	60,26629
76	16,65446	34,52808	18,15521	11,97509
77	18,29669	37,50333	3,450475	17,71637
78	7,404896	43,30893	11,8843	9,880379
79	34,2832	38,00197	-21,4787	23,14878
80	20,20754	45,38029	19,20179	16,57158
81	44,07001	57,14019	-11,2268	26,86759
82	16,10838	39,14693	26,53614	32,53615
83	47,09844	40,06143	-2,47634	22,29572
84	26,59105	60,77467	28,42928	20,21211
85	34,00049	54,42604	23,56083	26,5684

86	34,687	58,10605	23,02313	17,14877
87	30,31938	57,21275	18,57844	38,93756
88	46,08698	40,61878	26,79019	28,97245
89	41,66353	51,03039	20,52729	9,58557
90	40,70961	53,77871	18,91162	24,40034
91	29,68836	35,03649	25,12271	22,31246
92	58,91231	51,79512	14,94297	1,716779
93	63,38926	62,48038	18,05244	15,36768
94	9,611382	25,50565	50,86001	30,59022
95	23,80262	30,21518	30,39696	41,73416
96	30,68321	24,28785	39,9309	6,140953
97	17,0267	35,45308	36,42391	22,41104
98	25,33866	33,41951	40,8076	41,88803
99	39,89595	41,39904	46,34523	40,10204
100	28,58788	28,52677	22,87326	10,55792
101	30,336	40,74902	32,69554	26,60564
102	13,94151	41,54678	38,67684	29,38526

### C.5 Hasil CDF SNR SISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4	Ratio Probability
	SNR (dB)				
1	-8,85669	-3,84296	-21,4787	-13,1934	0,009804
2	3,949274	4,241101	-12,8445	-5,32048	0,019608
3	4,86838	6,670244	-11,2268	-5,32048	0,029412
4	7,36493	11,67954	-4,29104	0,407641	0,039216
5	7,404896	12,72333	-2,7501	1,716779	0,04902
6	9,611382	15,88347	-2,47634	6,140953	0,058824
7	13,93525	16,29425	3,450475	6,247904	0,068627

8	13,94151	16,75469	5,771953	7,284442	0,078431
9	14,52573	18,34963	6,338541	7,324779	0,088235
10	16,10838	20,47136	7,902106	8,131266	0,098039
11	16,65446	20,48464	9,074488	9,280401	0,107843
12	17,0267	23,12271	10,41812	9,39742	0,117647
13	17,26059	24,11487	10,52086	9,58557	0,127451
14	17,63694	24,16423	10,66359	9,880379	0,137255
15	17,83518	24,28785	11,11734	10,55792	0,147059
16	18,29669	24,51418	11,77248	11,97509	0,156863
17	20,14645	25,50565	11,8843	12,03769	0,166667
18	20,20754	26,6202	12,02989	12,75928	0,176471
19	20,30892	28,52677	13,04513	13,03818	0,186275
20	20,34944	28,72197	13,4818	14,33932	0,196078
21	21,1102	29,18401	13,4884	14,87855	0,205882
22	21,16354	29,94461	14,94297	15,36768	0,215686
23	21,78051	30,13062	15,26881	15,69106	0,22549
24	22,99225	30,21518	15,69874	16,51822	0,235294
25	23,80262	31,63065	15,94584	16,57158	0,245098
26	24,43409	33,41685	16,00036	17,14877	0,254902
27	25,33866	33,41951	16,33238	17,71637	0,264706
28	26,23118	34,52808	16,36797	18,272	0,27451
29	26,30693	34,64841	16,82687	18,33076	0,284314
30	26,4986	35,03649	17,57534	19,3643	0,294118
31	26,59105	35,45308	17,5774	20,21211	0,303922
32	27,5525	35,78172	18,05244	20,72884	0,313725
33	27,71689	37,50333	18,15521	21,1826	0,323529
34	28,58788	38,00197	18,57844	21,82989	0,333333
35	29,43327	39,14693	18,84066	22,06777	0,343137
36	29,65816	40,06143	18,91162	22,29572	0,352941

37	29,68836	40,61878	19,0135	22,31246	0,362745
38	30,00492	40,74902	19,0848	22,41104	0,372549
39	30,31938	41,0221	19,1211	22,4358	0,382353
40	30,336	41,39904	19,20179	22,84747	0,392157
41	30,68321	41,54678	19,65295	22,90232	0,401961
42	33,25063	42,6079	19,69503	23,14878	0,411765
43	33,89788	43,30893	19,98713	23,26943	0,421569
44	34,00049	43,43128	20,26216	23,30254	0,431373
45	34,2832	45,38029	20,52729	23,46618	0,441176
46	34,687	46,83402	21,40819	24,13136	0,45098
47	35,31946	47,36606	21,5319	24,40034	0,460784
48	36,51961	51,03039	21,5319	24,71757	0,470588
49	39,10141	51,79512	22,87326	24,82735	0,480392
50	39,89595	53,77871	23,02313	24,90036	0,490196
51	40,70961	54,42604	23,48498	25,24542	0,5
52	40,92722	55,56237	23,56083	25,79198	0,509804
53	41,66353	56,72065	24,33435	25,93877	0,519608
54	44,07001	57,08106	25,12271	26,03967	0,529412
55	45,06991	57,14019	25,30572	26,5684	0,539216
56	45,25777	57,21275	25,7027	26,60564	0,54902
57	46,08698	57,30933	25,74142	26,86759	0,558824
58	46,21032	58,03418	26,4757	26,95832	0,568627
59	46,72978	58,10605	26,53614	27,03147	0,578431
60	46,95832	60,77467	26,79019	27,24256	0,588235
61	47,09844	61,6091	26,96601	27,41619	0,598039
62	47,52324	62,08607	27,12119	27,44997	0,607843
63	48,17857	62,24374	28,01372	28,6905	0,617647
64	48,88013	62,24374	28,30495	28,70425	0,627451
65	48,96878	62,48038	28,42928	28,90617	0,637255

66	49,69025	62,87662	29,31407	28,97245	0,647059
67	50,3857	63,22708	29,87538	29,3082	0,656863
68	50,46189	64,51945	30,35684	29,38526	0,666667
69	51,38817	64,79551	30,39696	30,59022	0,676471
70	51,44987	66,08973	30,5727	30,67364	0,686275
71	52,36815	66,33126	30,75897	30,92273	0,696078
72	53,25839	67,06609	31,27071	31,0704	0,705882
73	56,23857	68,57802	32,69554	31,37694	0,715686
74	57,6311	70,40872	33,59105	32,1554	0,72549
75	58,67395	71,21427	35,16255	32,3779	0,735294
76	58,91231	71,54443	35,70232	32,53615	0,745098
77	59,44759	71,97509	36,42391	33,02845	0,754902
78	59,46148	72,38351	36,85624	33,0649	0,764706
79	59,4874	73,78353	37,10515	38,30825	0,77451
80	60,85584	74,56451	37,10689	38,93756	0,784314
81	61,18294	75,34206	38,67684	40,10204	0,794118
82	61,18294	75,61309	38,77952	41,01156	0,803922
83	63,38926	77,23706	39,9309	41,73416	0,813725
84	63,77104	77,47214	40,02653	41,88803	0,823529
85	64,94946	77,88901	40,8076	48,01818	0,833333
86	66,89443	77,91555	44,36146	50,92455	0,843137
87	69,64216	78,2071	44,97909	52,15732	0,852941
88	70,88195	78,21925	46,34523	52,68039	0,862745
89	74,79971	78,40693	50,86001	52,88547	0,872549
90	75,44031	78,734	52,19692	53,8238	0,882353
91	77,29455	79,10902	53,43758	54,80655	0,892157
92	77,50073	80,56716	56,71642	55,82118	0,901961
93	78,65885	80,76174	62,95729	55,92944	0,911765
94	79,05009	81,67048	65,26509	58,56939	0,921569



95	80,67564	81,93781	69,29082	60,04217	0,931373
96	80,91507	82,64238	71,30846	60,26629	0,941176
97	82,01478	84,0626	72,34193	61,44707	0,95098
98	82,48161	85,27095	74,91222	62,6234	0,960784
99	84,6128	86,84494	81,40686	63,30386	0,970588
100	87,11913	87,79412	86,49713	63,62283	0,980392
101	88,93018	88,42632	87,63638	66,27706	0,990196
102	89,49409	94,77676	89,98322	84,64357	1

### C.6 Hasil SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
	SNR (dB)			
1	74,95683	52,04466	75,03123	50,93137
2	80,95974	47,03743	81,00256	44,59096
3	57,97967	53,763	58,14998	53,47893
4	53,21581	60,98411	60,7135	53,84415
5	32,09403	43,15713	36,75492	41,23293
6	29,79046	64,56166	64,64406	23,37682
7	42,06077	36,76533	43,1778	34,23763
8	60,88723	55,71841	64,62687	23,44628
9	51,5157	77,49821	77,89584	28,06623
10	69,7069	84,08118	85,57426	35,09838
11	33,93775	70,41645	70,53756	10,04376
12	64,959	67,1018	72,09269	21,01365
13	37,14877	73,79818	73,78417	38,05185
14	48,19921	85,28414	85,3915	29,09421
15	47,0799	87,80113	87,87062	29,16938
16	50,22475	71,2288	71,91411	28,11597

17	49,46384	80,58625	80,79271	32,03184
18	59,69048	47,55779	61,40963	28,79023
19	58,70786	64,94033	68,28381	30,25357
20	36,61358	81,68307	81,71835	25,25309
21	56,2829	68,59252	70,45738	17,84717
22	59,5058	79,12004	79,9682	24,99297
23	37,14574	81,95669	81,9697	34,52046
24	46,31522	88,42708	88,49336	13,61936
25	50,99416	26,72791	50,87268	28,50455
26	45,71878	77,27966	77,45305	33,20882
27	50,50897	56,96403	60,13895	27,67834
28	47,24838	62,9764	64,16568	27,47901
29	66,92873	86,85017	87,67731	26,84352
30	37,2994	80,78339	80,80804	32,50148
31	45,49539	82,65664	82,75649	29,90533
32	53,37267	77,9651	78,40936	34,16805
33	32,04353	74,56785	74,61375	21,33498
34	49,43743	78,23483	78,51069	30,38235
35	59,69093	75,63304	76,87035	31,82977
36	49,11475	78,73837	78,96971	34,34649
37	61,27289	62,24737	67,75012	21,91783
38	61,27289	62,24737	67,75012	21,91783
39	52,48861	63,49148	65,41496	34,0856
40	21,9652	61,74012	61,64492	28,25146
41	75,44559	57,31192	76,4557	11,63065
42	77,2986	58,28726	78,19231	28,62434
43	77,51191	43,65017	77,65572	28,58498
44	63,7827	66,09425	71,02813	9,890369
45	70,96537	62,35862	73,57346	37,42065

46	45,14868	72,39748	72,61273	37,6539
47	82,03852	78,43092	86,41745	35,19811
48	87,12651	48,18817	87,20278	35,01576
49	80,7245	66,50377	82,19949	40,2188
50	84,61881	75,39412	87,1803	33,42849
51	89,4954	77,91118	91,52129	27,79539
52	82,4859	94,77872	96,66476	25,54196
53	79,05682	71,57648	82,10455	26,4059
54	88,93212	71,98383	90,08339	20,23034
55	78,66364	78,22063	84,45651	24,81571
56	44,75299	56,12603	26,82649	57,96437
57	72,34561	55,84404	10,581	73,55035
58	53,64645	51,31234	28,78456	58,29224
59	65,31314	58,85931	31,81178	68,56766
60	45,92853	84,64707	28,74649	84,73338
61	52,45486	54,19476	30,55376	59,06899
62	69,29551	63,32661	14,66801	72,82387
63	71,33526	53,29223	32,62587	72,27038
64	56,9251	63,64756	26,43939	66,8593
65	63,15065	60,04772	30,17952	67,64206
66	21,34299	26,35955	22,93463	25,31925
67	22,03577	25,83986	13,04513	28,86189
68	35,39448	32,14424	36,62186	29,97877
69	38,2798	30,88453	32,56041	37,45269
70	29,45744	19,15896	28,6905	21,28
71	74,92052	62,67634	22,66704	76,80146
72	87,64497	61,52447	30,73907	88,0522
73	89,9871	54,97171	27,84354	90,13327
74	86,50141	66,34767	28,69967	87,3052

75	81,42246	60,49323	33,70183	82,137
76	23,45781	35,15247	35,57224	21,62418
77	19,74172	38,35076	38,40637	19,2529
78	15,95081	43,49208	43,44702	16,9606
79	34,29734	39,44593	42,3607	23,19962
80	25,73981	45,68976	45,84638	24,00646
81	44,08493	57,40238	58,88212	26,97509
82	28,8219	42,47645	39,73851	36,06485
83	47,12723	41,11788	50,2945	22,78321
84	33,5793	60,8557	60,94271	31,2788
85	36,2835	54,77062	55,21606	31,21474
86	36,70199	58,1835	58,67308	26,59397
87	32,31847	58,21235	57,5969	39,73337
88	46,98117	42,6374	49,79687	33,97027
89	42,39402	51,10363	53,57339	22,6968
90	41,38855	54,06886	55,52083	28,1031
91	33,72273	36,84235	38,78831	29,85134
92	58,96714	51,8223	62,08377	16,65675
93	63,43612	62,51859	68,9673	22,83398
94	50,93491	34,43539	26,79803	51,66368
95	33,73172	43,77935	33,60831	43,8178
96	42,5043	25,30148	34,0819	40,10666
97	37,30833	37,20013	36,43637	38,00197
98	42,16004	44,66798	36,30738	47,3852
99	49,7265	46,79532	46,70057	49,79349
100	32,2129	29,5602	34,57798	24,75732
101	37,61625	42,30553	43,03819	36,19433
102	39,16634	43,46105	41,90132	41,23901

### C.7 Hasil CDF SNR SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO1	SIMO2	MISO1	MISO2	Ratio Probability
	SNR (dB)				
1	15,95081	19,15896	10,581	9,890369	0,009804
2	19,74172	25,30148	13,04513	10,04376	0,019608
3	21,34299	25,83986	14,66801	11,63065	0,029412
4	21,9652	26,35955	22,66704	13,61936	0,039216
5	22,03577	26,72791	22,93463	16,65675	0,04902
6	23,45781	29,5602	26,43939	16,9606	0,058824
7	25,73981	30,88453	26,79803	17,84717	0,068627
8	28,8219	32,14424	26,82649	19,2529	0,078431
9	29,45744	34,43539	27,84354	20,23034	0,088235
10	29,79046	35,15247	28,6905	21,01365	0,098039
11	32,04353	36,76533	28,69967	21,28	0,107843
12	32,09403	36,84235	28,74649	21,33498	0,117647
13	32,2129	37,20013	28,78456	21,62418	0,127451
14	32,31847	38,35076	30,17952	21,91783	0,137255
15	33,5793	39,44593	30,55376	21,91783	0,147059
16	33,72273	41,11788	30,73907	22,6968	0,156863
17	33,73172	42,30553	31,81178	22,78321	0,166667
18	33,93775	42,47645	32,56041	22,83398	0,176471
19	34,29734	42,6374	32,62587	23,19962	0,186275
20	35,39448	43,15713	33,60831	23,37682	0,196078
21	36,2835	43,46105	33,70183	23,44628	0,205882
22	36,61358	43,49208	34,0819	24,00646	0,215686
23	36,70199	43,65017	34,57798	24,75732	0,22549
24	37,14574	43,77935	35,57224	24,81571	0,235294
25	37,14877	44,66798	36,30738	24,99297	0,245098

26	37,2994	45,68976	36,43637	25,25309	0,254902
27	37,30833	46,79532	36,62186	25,31925	0,264706
28	37,61625	47,03743	36,75492	25,54196	0,27451
29	38,2798	47,55779	38,40637	26,4059	0,284314
30	39,16634	48,18817	38,78831	26,59397	0,294118
31	41,38855	51,10363	39,73851	26,84352	0,303922
32	42,06077	51,31234	41,90132	26,97509	0,313725
33	42,16004	51,8223	42,3607	27,47901	0,323529
34	42,39402	52,04466	43,03819	27,67834	0,333333
35	42,5043	53,29223	43,1778	27,79539	0,343137
36	44,08493	53,763	43,44702	28,06623	0,352941
37	44,75299	54,06886	45,84638	28,1031	0,362745
38	45,14868	54,19476	46,70057	28,11597	0,372549
39	45,49539	54,77062	49,79687	28,25146	0,382353
40	45,71878	54,97171	50,2945	28,50455	0,392157
41	45,92853	55,71841	50,87268	28,58498	0,401961
42	46,31522	55,84404	53,57339	28,62434	0,411765
43	46,98117	56,12603	55,21606	28,79023	0,421569
44	47,0799	56,96403	55,52083	28,86189	0,431373
45	47,12723	57,31192	57,5969	29,09421	0,441176
46	47,24838	57,40238	58,14998	29,16938	0,45098
47	48,19921	58,1835	58,67308	29,85134	0,460784
48	49,11475	58,21235	58,88212	29,90533	0,470588
49	49,43743	58,28726	60,13895	29,97877	0,480392
50	49,46384	58,85931	60,7135	30,25357	0,490196
51	49,7265	60,04772	60,94271	30,38235	0,5
52	50,22475	60,49323	61,40963	31,21474	0,509804
53	50,50897	60,8557	61,64492	31,2788	0,519608
54	50,93491	60,98411	62,08377	31,82977	0,529412

55	50,99416	61,52447	64,16568	32,03184	0,539216
56	51,5157	61,74012	64,62687	32,50148	0,54902
57	52,45486	62,24737	64,64406	33,20882	0,558824
58	52,48861	62,24737	65,41496	33,42849	0,568627
59	53,21581	62,35862	67,75012	33,97027	0,578431
60	53,37267	62,51859	67,75012	34,0856	0,588235
61	53,64645	62,67634	68,28381	34,16805	0,598039
62	56,2829	62,9764	68,9673	34,23763	0,607843
63	56,9251	63,32661	70,45738	34,34649	0,617647
64	57,97967	63,49148	70,53756	34,52046	0,627451
65	58,70786	63,64756	71,02813	35,01576	0,637255
66	58,96714	64,56166	71,91411	35,09838	0,647059
67	59,5058	64,94033	72,09269	35,19811	0,656863
68	59,69048	66,09425	72,61273	36,06485	0,666667
69	59,69093	66,34767	73,57346	36,19433	0,676471
70	60,88723	66,50377	73,78417	37,42065	0,686275
71	61,27289	67,1018	74,61375	37,45269	0,696078
72	61,27289	68,59252	75,03123	37,6539	0,705882
73	63,15065	70,41645	76,4557	38,00197	0,715686
74	63,43612	71,2288	76,87035	38,05185	0,72549
75	63,7827	71,57648	77,45305	39,73337	0,735294
76	64,959	71,98383	77,65572	40,10666	0,745098
77	65,31314	72,39748	77,89584	40,2188	0,754902
78	66,92873	73,79818	78,19231	41,23293	0,764706
79	69,29551	74,56785	78,40936	41,23901	0,77451
80	69,7069	75,39412	78,51069	43,8178	0,784314
81	70,96537	75,63304	78,96971	44,59096	0,794118
82	71,33526	77,27966	79,9682	47,3852	0,803922
83	72,34561	77,49821	80,79271	49,79349	0,813725

84	74,92052	77,91118	80,80804	50,93137	0,823529
85	74,95683	77,9651	81,00256	51,66368	0,833333
86	75,44559	78,22063	81,71835	53,47893	0,843137
87	77,2986	78,23483	81,9697	53,84415	0,852941
88	77,51191	78,43092	82,10455	57,96437	0,862745
89	78,66364	78,73837	82,19949	58,29224	0,872549
90	79,05682	79,12004	82,75649	59,06899	0,882353
91	80,7245	80,58625	84,45651	66,8593	0,892157
92	80,95974	80,78339	85,3915	67,64206	0,901961
93	81,42246	81,68307	85,57426	68,56766	0,911765
94	82,03852	81,95669	86,41745	72,27038	0,921569
95	82,4859	82,65664	87,1803	72,82387	0,931373
96	84,61881	84,08118	87,20278	73,55035	0,941176
97	86,50141	84,64707	87,67731	76,80146	0,95098
98	87,12651	85,28414	87,87062	82,137	0,960784
99	87,64497	86,85017	88,49336	84,73338	0,970588
100	88,93212	87,80113	90,08339	87,3052	0,980392
101	89,4954	88,42708	91,52129	88,0522	0,990196
102	89,9871	94,77872	96,66476	90,13327	1

### C.8 Hasil BER SISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
	BER			
1	2,54E-06	0,0001	0,0001	0,0001
2	1,25E-06	0,0001	0,0002	0,0001
3	1,83E-05	0,0003	0,0004	3,16E-05
4	3,75E-05	1,95E-05	0,0002	3,44E-05
5	0,0019	0,0002	0,0004	0,0002



6	0,0006	8,28E-06	0,0021	0,0017
7	0,0002	0,0003	0,0004	0,0009
8	1,26E-05	2,32E-05	0,0035	0,0013
9	3,63E-05	1,86E-06	0,0048	0,0006
10	4,59E-06	8,7E-07	0,0006	0,0004
11	0,0003	4,2E-06	0,0518	0,0047
12	7,88E-06	6,18E-06	0,007	0,0015
13	0,0347	2,85E-06	0,0002	0,0017
14	0,0001	7,6E-07	0,0214	0,0005
15	0,0001	5,7E-07	0,0016	0,0007
16	4,56E-05	3,83E-06	0,0007	0,0023
17	4,96E-05	1,31E-06	0,0008	0,0006
18	1,48E-05	0,0001	0,0006	0,0027
19	1,62E-05	8,02E-06	0,0041	0,0005
20	0,0002	1,15E-06	0,0181	0,0008
21	2,15E-05	5,19E-06	0,0041	0,0031
22	1,48E-05	1,54E-06	0,0022	0,0012
23	0,0003	1,11E-06	0,0005	0,0005
24	0,0001	5,28E-06	0,0055	0,0059
25	4,18E-05	0,0009	0,0007	0,0025
26	0,0001	1,91E-06	0,0014	0,0004
27	4,21E-05	2,03E-05	0,0029	0,0007
28	0,0001	0,00001	0,0018	0,0009
29	6,30E-06	6,3E-07	0,0016	0,001
30	0,0002	1,28E-06	0,0009	0,0005
31	0,0001	1,03E-06	0,0015	0,0006
32	3,03E-05	1,77E-06	0,0023	0,0003
33	0,0005	2,6E-06	0,0014	0,0067
34	0,0001	1,71E-06	0,0008	0,0009

35	1,48E-05	2,31E-06	0,0006	0,001
36	0,0001	1,61E-06	0,0003	0,0032
37	1,22E-05	1,08E-05	0,0012	0,0239
38	1,22E-05	1,08E-05	0,0012	0,0239
39	3,35E-05	9,61E-06	0,0024	0,0003
40	0,0028	1,16E-05	0,0018	0,0008
41	2,36E-06	1,9E-05	0,0038	0,0536
42	1,9E-06	1,75E-05	0,004	0,0006
43	1,86E-06	0,0001	0,0014	0,0008
44	9,02E-06	6,91E-06	0,0066	0,0128
45	3,98E-06	1,1E-05	0,0004	0,0003
46	0,0001	3,35E-06	0,0002	0,0021
47	1,11E-06	1,67E-06	0,0004	0,0006
48	6,14E-07	0,0001	0,0007	0,0004
49	1,29E-06	6,72E-06	0,0002	0,0003
50	8,19E-07	2,38E-06	0,0012	0,0004
51	4,67E-07	1,78E-06	0,0031	0,0007
52	1,05E-06	2,54E-07	0,0021	0,0011
53	1,55E-06	3,69E-06	0,002	0,001
54	4,98E-07	3,51E-06	0,0022	0,0034
55	1,63E-06	1,71E-06	0,0029	0,0011
56	0,0018	0,001	0,0001	2,23E-05
57	0,0078	0,0083	3,36E-06	2,25E-05
58	0,0012	0,0009	2,97E-05	3,96E-05
59	0,0014	0,0005	7,6E-06	1,64E-05
60	0,0007	0,002	0,0001	8,2E-07
61	0,0011	0,0006	3,42E-05	2,84E-05
62	0,0086	0,0036	4,78E-06	9,52E-06
63	0,0012	0,0004	3,79E-06	3,24E-05

64	0,0008	0,0032	2,03E-05	9,18E-06
65	0,0004	0,0204	9,91E-06	1,39E-05
66	0,0018	0,0022	0,0036	0,001
67	0,0059	0,0063	0,0013	0,0008
68	0,0005	0,0004	0,0005	0,0059
69	0,0013	0,0004	0,0002	0,0047
70	0,0007	0,0021	0,0015	0,0054
71	0,0026	0,0017	2,5E-06	1,03E-05
72	0,0006	0,0013	5,78E-07	1,18E-05
73	0,001	0,0013	4,41E-07	2,53E-05
74	0,0013	0,0008	6,59E-07	6,76E-06
75	0,0007	0,0005	1,19E-06	1,35E-05
76	0,002	0,0003	0,0017	0,0035
77	0,0017	0,0002	0,0091	0,0018
78	0,0058	0,0001	0,0035	0,0044
79	0,0003	0,0002	0,112	0,001
80	0,0014	0,0001	0,0015	0,0021
81	0,0001	1,94E-05	0,0441	0,0006
82	0,0022	0,0002	0,0007	0,0003
83	0,0001	0,0001	0,0176	0,0011
84	0,0007	1,27E-05	0,0005	0,0014
85	0,0003	2,65E-05	0,0009	0,0007
86	0,0003	1,73E-05	0,001	0,0019
87	0,0004	1,92E-05	0,0016	0,0002
88	0,0001	0,0001	0,0006	0,0005
89	0,0001	3,91E-05	0,0013	0,0046
90	0,0001	2,85E-05	0,0016	0,0008
91	0,0005	0,0002	0,0008	0,0011
92	1,58E-05	3,58E-05	0,0025	0,0111

93	9,43E-06	1,05E-05	0,0017	0,0024
94	0,0045	0,0007	3,99E-05	0,0004
95	0,0009	0,0004	0,0004	0,0001
96	0,0004	0,0008	0,0001	0,0067
97	0,002	0,0002	0,0002	0,0011
98	0,0008	0,0003	0,0001	0,0001
99	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
100	0,0005	0,0005	0,001	0,0041
101	0,0004	0,0001	0,0003	0,0006
102	0,0028	0,0001	0,0002	0,0005

### C.9 Hasil CDF BER SISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4	Ratio Probability
	BER				
1	4,67E-07	2,54E-07	4,41E-07	8,2E-07	0,009804
2	4,98E-07	5,7E-07	5,78E-07	6,76E-06	0,019608
3	6,14E-07	6,3E-07	6,59E-07	9,18E-06	0,029412
4	8,19E-07	7,6E-07	1,19E-06	9,52E-06	0,039216
5	1,05E-06	8,7E-07	2,5E-06	1,03E-05	0,04902
6	1,11E-06	1,03E-06	3,36E-06	1,18E-05	0,058824
7	1,25E-06	1,11E-06	3,79E-06	1,35E-05	0,068627
8	1,29E-06	1,15E-06	4,78E-06	1,39E-05	0,078431
9	1,55E-06	1,28E-06	7,6E-06	1,64E-05	0,088235
10	1,63E-06	1,31E-06	9,91E-06	2,23E-05	0,098039
11	1,86E-06	1,54E-06	2,03E-05	2,25E-05	0,107843
12	1,9E-06	1,61E-06	2,97E-05	2,53E-05	0,117647
13	2,36E-06	1,67E-06	3,42E-05	2,84E-05	0,127451
14	2,54E-06	1,71E-06	3,99E-05	3,16E-05	0,137255

15	3,98E-06	1,71E-06	0,0001	3,24E-05	0,147059
16	4,59E-06	1,77E-06	0,0001	3,44E-05	0,156863
17	6,30E-06	1,78E-06	0,0001	3,96E-05	0,166667
18	7,88E-06	1,86E-06	0,0001	0,0001	0,176471
19	9,02E-06	1,91E-06	0,0001	0,0001	0,186275
20	9,43E-06	2,31E-06	0,0001	0,0001	0,196078
21	1,22E-05	2,38E-06	0,0002	0,0001	0,205882
22	1,22E-05	2,6E-06	0,0002	0,0001	0,215686
23	1,26E-05	2,85E-06	0,0002	0,0002	0,22549
24	1,48E-05	3,35E-06	0,0002	0,0002	0,235294
25	1,48E-05	3,51E-06	0,0002	0,0003	0,245098
26	1,48E-05	3,69E-06	0,0002	0,0003	0,254902
27	1,58E-05	3,83E-06	0,0002	0,0003	0,264706
28	1,62E-05	4,2E-06	0,0002	0,0003	0,27451
29	1,83E-05	5,19E-06	0,0003	0,0003	0,284314
30	2,15E-05	5,28E-06	0,0003	0,0004	0,294118
31	3,03E-05	6,18E-06	0,0004	0,0004	0,303922
32	3,35E-05	6,72E-06	0,0004	0,0004	0,313725
33	3,63E-05	6,91E-06	0,0004	0,0004	0,323529
34	3,75E-05	8,02E-06	0,0004	0,0004	0,333333
35	4,18E-05	8,28E-06	0,0004	0,0005	0,343137
36	4,21E-05	9,61E-06	0,0004	0,0005	0,352941
37	4,56E-05	0,00001	0,0005	0,0005	0,362745
38	4,96E-05	1,05E-05	0,0005	0,0005	0,372549
39	0,0001	1,08E-05	0,0005	0,0005	0,382353
40	0,0001	1,08E-05	0,0006	0,0005	0,392157
41	0,0001	1,1E-05	0,0006	0,0006	0,401961
42	0,0001	1,16E-05	0,0006	0,0006	0,411765
43	0,0001	1,27E-05	0,0006	0,0006	0,421569

44	0,0001	1,73E-05	0,0007	0,0006	0,431373
45	0,0001	1,75E-05	0,0007	0,0006	0,441176
46	0,0001	1,9E-05	0,0007	0,0006	0,45098
47	0,0001	1,92E-05	0,0007	0,0006	0,460784
48	0,0001	1,94E-05	0,0008	0,0007	0,470588
49	0,0001	1,95E-05	0,0008	0,0007	0,480392
50	0,0001	2,03E-05	0,0008	0,0007	0,490196
51	0,0001	2,32E-05	0,0009	0,0007	0,5
52	0,0001	2,65E-05	0,0009	0,0008	0,509804
53	0,0001	2,85E-05	0,001	0,0008	0,519608
54	0,0002	3,58E-05	0,001	0,0008	0,529412
55	0,0002	3,91E-05	0,0012	0,0008	0,539216
56	0,0002	0,0001	0,0012	0,0008	0,54902
57	0,0003	0,0001	0,0012	0,0009	0,558824
58	0,0003	0,0001	0,0013	0,0009	0,568627
59	0,0003	0,0001	0,0013	0,0009	0,578431
60	0,0003	0,0001	0,0014	0,001	0,588235
61	0,0003	0,0001	0,0014	0,001	0,598039
62	0,0004	0,0001	0,0014	0,001	0,607843
63	0,0004	0,0001	0,0015	0,001	0,617647
64	0,0004	0,0001	0,0015	0,001	0,627451
65	0,0004	0,0001	0,0015	0,0011	0,637255
66	0,0005	0,0001	0,0016	0,0011	0,647059
67	0,0005	0,0001	0,0016	0,0011	0,656863
68	0,0005	0,0002	0,0016	0,0011	0,666667
69	0,0005	0,0002	0,0016	0,0011	0,676471
70	0,0006	0,0002	0,0017	0,0012	0,686275
71	0,0006	0,0002	0,0017	0,0013	0,696078
72	0,0007	0,0002	0,0018	0,0014	0,705882

73	0,0007	0,0002	0,0018	0,0015	0,715686
74	0,0007	0,0003	0,002	0,0017	0,72549
75	0,0007	0,0003	0,0021	0,0017	0,735294
76	0,0008	0,0003	0,0021	0,0018	0,745098
77	0,0008	0,0003	0,0022	0,0019	0,754902
78	0,0009	0,0004	0,0022	0,0021	0,764706
79	0,001	0,0004	0,0023	0,0021	0,77451
80	0,0011	0,0004	0,0024	0,0023	0,784314
81	0,0012	0,0004	0,0025	0,0024	0,794118
82	0,0012	0,0005	0,0029	0,0025	0,803922
83	0,0013	0,0005	0,0029	0,0027	0,813725
84	0,0013	0,0005	0,0031	0,0031	0,823529
85	0,0014	0,0006	0,0035	0,0032	0,833333
86	0,0014	0,0007	0,0035	0,0034	0,843137
87	0,0017	0,0008	0,0036	0,0035	0,852941
88	0,0018	0,0008	0,0038	0,0041	0,862745
89	0,0018	0,0009	0,004	0,0044	0,872549
90	0,0019	0,0009	0,0041	0,0046	0,882353
91	0,002	0,001	0,0041	0,0047	0,892157
92	0,002	0,0013	0,0048	0,0047	0,901961
93	0,0022	0,0013	0,0055	0,0054	0,911765
94	0,0026	0,0017	0,0066	0,0059	0,921569
95	0,0028	0,002	0,007	0,0059	0,931373
96	0,0028	0,0021	0,0091	0,0067	0,941176
97	0,0045	0,0022	0,0176	0,0067	0,95098
98	0,0058	0,0032	0,0181	0,0111	0,960784
99	0,0059	0,0036	0,0214	0,0128	0,970588
100	0,0078	0,0063	0,0441	0,0239	0,980392
101	0,0086	0,0083	0,0518	0,0239	0,990196

102	0,0347	0,0204	0,112	0,0536	1
-----	--------	--------	-------	--------	---

#### C.10 Hasil BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO1	SIMO2	MISO1	MISO2
	BER			
1	2,49E-06	3,48E-05	2,47E-06	3,96E-05
2	1,25E-06	0,0001	1,24E-06	0,0001
3	1,76E-05	2,86E-05	1,72E-05	2,95E-05
4	3,04E-05	1,24E-05	1,28E-05	2,83E-05
5	0,0003	0,0001	0,0002	0,0001
6	0,0005	8,24E-06	8,16E-06	0,0009
7	0,0001	0,0002	0,0001	0,0003
8	1,26E-05	2,28E-05	8,18E-06	0,0009
9	3,7E-05	1,86E-06	1,77E-06	0,0005
10	4,56E-06	8,7E-07	7,3E-07	0,0002
11	0,0003	4,2E-06	4,14E-06	0,0043
12	7,87E-06	6,15E-06	3,46E-06	0,0012
13	0,0002	2,84E-06	2,85E-06	0,0002
14	0,0001	7,6E-07	7,5E-07	0,0005
15	0,0001	5,7E-07	5,6E-07	0,0005
16	4,29E-05	3,82E-06	3,53E-06	0,0005
17	4,69E-05	1,3E-06	1,27E-06	0,0003
18	1,44E-05	0,0001	1,18E-05	0,0005
19	1,62E-05	7,89E-06	5,37E-06	0,0004
20	0,0002	1,15E-06	1,14E-06	0,0008
21	2,14E-05	5,18E-06	4,18E-06	0,0018
22	1,48E-05	1,54E-06	1,4E-06	0,0008
23	0,0002	1,11E-06	1,11E-06	0,0003



24	0,0001	5,28E-07	5,2E-07	0,0029
25	3,93E-05	0,0006	3,98E-05	0,0005
26	0,0001	1,91E-06	1,87E-06	0,0003
27	4,15E-05	1,98E-05	1,37E-05	0,0006
28	0,0001	9,89E-06	8,62E-06	0,0006
29	6,27E-06	6,3E-07	5,8E-07	0,0006
30	0,0002	1,27E-06	1,27E-06	0,0003
31	0,0001	1,03E-06	1,01E-06	0,0004
32	2,99E-05	1,76E-06	1,67E-06	0,0003
33	0,0003	2,6E-06	2,59E-06	0,0012
34	4,7E-05	1,71E-06	1,65E-06	0,0004
35	1,44E-05	2,3E-06	0,000002	0,0004
36	4,88E-05	1,61E-06	1,57E-06	0,0003
37	1,2E-05	1,08E-05	5,71E-06	0,0011
38	1,2E-05	1,08E-05	5,71E-06	0,0011
39	3,31E-05	9,32E-06	7,47E-06	0,0003
40	0,0011	1,14E-05	1,15E-05	0,0005
41	2,35E-06	1,9E-05	2,09E-06	0,0036
42	1,9E-06	1,7E-05	1,72E-06	0,0005
43	1,86E-06	0,0001	1,82E-06	0,0005
44	9,01E-06	6,91E-06	3,91E-06	0,0044
45	3,94E-06	1,06E-05	2,92E-06	0,0002
46	0,0001	3,34E-06	3,26E-06	0,0002
47	1,1E-06	1,67E-06	6,7E-07	0,0002
48	6,13E-07	0,0001	6,1E-07	0,0002
49	1,28E-06	6,59E-06	1,08E-06	0,0001
50	8,19E-07	2,37E-06	6,1E-07	0,0003
51	4,67E-07	1,77E-06	3,7E-07	0,0006
52	1,05E-06	2,5E-07	2E-07	0,0007

53	1,55E-06	3,67E-06	1,09E-06	0,0007
54	4,98E-07	3,51E-06	4,4E-07	0,0014
55	1,63E-06	1,71E-06	8,3E-07	0,0008
56	0,0001	2,18E-05	0,0006	1,76E-05
57	3,36E-06	2,25E-05	0,0041	2,93E-06
58	2,9E-05	3,79E-05	0,0005	1,7E-05
59	7,56E-06	1,59E-05	0,0004	5,19E-06
60	0,0001	8,2E-07	0,0005	8,1E-07
61	3,32E-05	2,72E-05	0,0004	1,55E-05
62	4,78E-06	9,5E-06	0,0026	3,18E-06
63	3,78E-06	3,02E-05	0,0003	3,39E-06
64	1,99E-05	9,15E-06	0,0007	6,32E-06
65	9,69E-07	1,39E-05	0,0004	5,78E-06
66	0,0012	0,0007	0,001	0,0008
67	0,0011	0,0007	0,0031	0,0005
68	0,0002	0,0003	0,0002	0,0004
69	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002
70	0,0005	0,0015	0,0005	0,0012
71	2,5E-06	1,02E-05	0,001	2,01E-06
72	5,78E-07	1,17E-05	0,0004	5,51E-07
73	4,41E-07	2,49E-05	0,0006	4,34E-07
74	6,59E-07	6,71E-06	0,0005	6,01E-07
75	1,18E-06	1,32E-05	0,0003	1,09E-06
76	0,0009	0,0002	0,0002	0,0012
77	0,0014	0,0002	0,0002	0,0015
78	0,0022	0,0001	0,0001	0,002
79	0,0003	0,0001	0,0001	0,001
80	0,0007	0,0001	0,0001	0,0009
81	0,0001	1,88E-05	1,58E-05	0,0006

82	0,0005	0,0001	0,0001	0,0002
83	0,0001	0,0001	4,26E-05	0,001
84	0,0003	1,26E-05	1,25E-05	0,0004
85	0,0002	2,54E-05	2,42E-05	0,0004
86	0,0002	1,72E-05	1,62E-05	0,0007
87	0,0003	1,71E-05	1,84E-05	0,0001
88	0,0001	0,0001	4,51E-05	0,0003
89	0,0001	3,88E-05	2,92E-05	0,001
90	0,0001	2,76E-05	2,33E-05	0,0005
91	0,0003	0,0002	0,0002	0,0004
92	1,57E-05	3,57E-05	1,1E-05	0,002
93	9,38E-06	1,04E-05	4,96E-06	0,001
94	3,96E-05	0,0003	0,0006	3,64E-05
95	0,0003	0,0001	0,0003	0,0001
96	0,0001	0,0008	0,0003	0,0001
97	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
98	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
99	4,55E-05	0,0001	0,0001	4,51E-05
100	0,0003	0,0005	0,0003	0,0008
101	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002
102	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001

#### C.11 Hasil CDF BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2	Ratio Probability
	BER				
1	4,41E-07	2,5E-07	2E-07	4,34E-07	0,009804
2	4,67E-07	5,28E-07	3,7E-07	5,51E-07	0,019608
3	4,98E-07	5,7E-07	4,4E-07	6,01E-07	0,029412

4	5,78E-07	6,3E-07	5,2E-07	8,1E-07	0,039216
5	6,13E-07	7,6E-07	5,6E-07	1,09E-06	0,04902
6	6,59E-07	8,2E-07	5,8E-07	2,01E-06	0,058824
7	8,19E-07	8,7E-07	6,1E-07	2,93E-06	0,068627
8	9,69E-07	1,03E-06	6,1E-07	3,18E-06	0,078431
9	1,05E-06	1,11E-06	6,7E-07	3,39E-06	0,088235
10	1,1E-06	1,15E-06	7,3E-07	5,19E-06	0,098039
11	1,18E-06	1,27E-06	7,5E-07	5,78E-06	0,107843
12	1,25E-06	1,3E-06	8,3E-07	6,32E-06	0,117647
13	1,28E-06	1,54E-06	1,01E-06	1,55E-05	0,127451
14	1,55E-06	1,61E-06	1,08E-06	1,7E-05	0,137255
15	1,63E-06	1,67E-06	1,09E-06	1,76E-05	0,147059
16	1,86E-06	1,71E-06	1,11E-06	2,83E-05	0,156863
17	1,9E-06	1,71E-06	1,14E-06	2,95E-05	0,166667
18	2,35E-06	1,76E-06	1,24E-06	3,64E-05	0,176471
19	2,49E-06	1,77E-06	1,27E-06	3,96E-05	0,186275
20	2,5E-06	1,86E-06	1,27E-06	4,51E-05	0,196078
21	3,36E-06	1,91E-06	1,4E-06	0,0001	0,205882
22	3,78E-06	2,3E-06	1,57E-06	0,0001	0,215686
23	3,94E-06	2,37E-06	1,65E-06	0,0001	0,22549
24	4,56E-06	2,6E-06	1,67E-06	0,0001	0,235294
25	4,78E-06	2,84E-06	1,72E-06	0,0001	0,245098
26	6,27E-06	3,34E-06	1,77E-06	0,0001	0,254902
27	7,56E-06	3,51E-06	1,82E-06	0,0001	0,264706
28	7,87E-06	3,67E-06	1,87E-06	0,0001	0,27451
29	9,01E-06	3,82E-06	0,000002	0,0002	0,284314
30	9,38E-06	4,2E-06	2,09E-06	0,0002	0,294118
31	1,2E-05	5,18E-06	2,47E-06	0,0002	0,303922
32	1,2E-05	6,15E-06	2,59E-06	0,0002	0,313725

33	1,26E-05	6,59E-06	2,85E-06	0,0002	0,323529
34	1,44E-05	6,71E-06	2,92E-06	0,0002	0,333333
35	1,44E-05	6,91E-06	3,26E-06	0,0002	0,343137
36	1,48E-05	7,89E-06	3,46E-06	0,0002	0,352941
37	1,57E-05	8,24E-06	3,53E-06	0,0002	0,362745
38	1,62E-05	9,15E-06	3,91E-06	0,0002	0,372549
39	1,76E-05	9,32E-06	4,14E-06	0,0003	0,382353
40	1,99E-05	9,5E-06	4,18E-06	0,0003	0,392157
41	2,14E-05	9,89E-06	4,96E-06	0,0003	0,401961
42	2,9E-05	1,02E-05	5,37E-06	0,0003	0,411765
43	2,99E-05	1,04E-05	5,71E-06	0,0003	0,421569
44	3,04E-05	1,06E-05	5,71E-06	0,0003	0,431373
45	3,31E-05	1,08E-05	7,47E-06	0,0003	0,441176
46	3,32E-05	1,08E-05	8,16E-06	0,0003	0,45098
47	3,7E-05	1,14E-05	8,18E-06	0,0003	0,460784
48	3,93E-05	1,17E-05	8,62E-06	0,0003	0,470588
49	3,96E-05	1,24E-05	1,1E-05	0,0004	0,480392
50	4,15E-05	1,26E-05	1,15E-05	0,0004	0,490196
51	4,29E-05	1,32E-05	1,18E-05	0,0004	0,5
52	4,55E-05	1,39E-05	1,25E-05	0,0004	0,509804
53	4,69E-05	1,59E-05	1,28E-05	0,0004	0,519608
54	4,7E-05	1,7E-05	1,37E-05	0,0004	0,529412
55	4,88E-05	1,71E-05	1,58E-05	0,0004	0,539216
56	0,0001	1,72E-05	1,62E-05	0,0004	0,54902
57	0,0001	1,88E-05	1,72E-05	0,0005	0,558824
58	0,0001	1,9E-05	1,84E-05	0,0005	0,568627
59	0,0001	1,98E-05	2,33E-05	0,0005	0,578431
60	0,0001	2,18E-05	2,42E-05	0,0005	0,588235
61	0,0001	2,25E-05	2,92E-05	0,0005	0,598039

62	0,0001	2,28E-05	3,98E-05	0,0005	0,607843
63	0,0001	2,49E-05	4,26E-05	0,0005	0,617647
64	0,0001	2,54E-05	4,51E-05	0,0005	0,627451
65	0,0001	2,72E-05	0,0001	0,0005	0,637255
66	0,0001	2,76E-05	0,0001	0,0005	0,647059
67	0,0001	2,86E-05	0,0001	0,0005	0,656863
68	0,0001	3,02E-05	0,0001	0,0006	0,666667
69	0,0001	3,48E-05	0,0001	0,0006	0,676471
70	0,0001	3,57E-05	0,0001	0,0006	0,686275
71	0,0001	3,79E-05	0,0001	0,0006	0,696078
72	0,0001	3,88E-05	0,0001	0,0006	0,705882
73	0,0002	0,0001	0,0002	0,0007	0,715686
74	0,0002	0,0001	0,0002	0,0007	0,72549
75	0,0002	0,0001	0,0002	0,0007	0,735294
76	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008	0,745098
77	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008	0,754902
78	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008	0,764706
79	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008	0,77451
80	0,0002	0,0001	0,0003	0,0008	0,784314
81	0,0002	0,0001	0,0003	0,0009	0,794118
82	0,0002	0,0001	0,0003	0,0009	0,803922
83	0,0002	0,0001	0,0003	0,0009	0,813725
84	0,0003	0,0001	0,0003	0,001	0,823529
85	0,0003	0,0001	0,0003	0,001	0,833333
86	0,0003	0,0001	0,0004	0,001	0,843137
87	0,0003	0,0001	0,0004	0,001	0,852941
88	0,0003	0,0001	0,0004	0,0011	0,862745
89	0,0003	0,0002	0,0004	0,0011	0,872549
90	0,0003	0,0002	0,0005	0,0012	0,882353

91	0,0003	0,0002	0,0005	0,0012	0,892157
92	0,0003	0,0002	0,0005	0,0012	0,901961
93	0,0005	0,0002	0,0005	0,0012	0,911765
94	0,0005	0,0003	0,0006	0,0014	0,921569
95	0,0005	0,0003	0,0006	0,0015	0,931373
96	0,0007	0,0004	0,0006	0,0018	0,941176
97	0,0009	0,0005	0,0007	0,002	0,95098
98	0,0011	0,0006	0,001	0,002	0,960784
99	0,0011	0,0007	0,001	0,0029	0,970588
100	0,0012	0,0007	0,0026	0,0036	0,980392
101	0,0014	0,0008	0,0031	0,0043	0,990196
102	0,0022	0,0015	0,0041	0,0044	1

## D. Link Surabaya-Malang

### D.1 Hasil Respon Kanal Surabaya-Malang

Indeks Sampel	h11	h12	h21	h22
	kompleks	kompleks	kompleks	kompleks
1	- 0.02265348 61800103 +	- 0.46471593 7980099 +	- 0.00329263 793432758 -	0.24536232 8280421 -
	0.13489154 2200463i	0.15518972 9465882i	0.06369555 33558710i	0.01791602 94425138i
2	0.62834929 7134542 -	1.51003352 577228 -	0.03744226 01484033 +	0.11449248 4304840 +
	0.58437376 5506741i	0.63123837 1468958i	0.09190444 38469509i	0.13317042 1174605i

3	0.18363443 9830831 + 0.05869152 06066542i	0.12901428 7709912 + 0.54840682 2030743i	- 0.13852885 1512924 - 0.00555177 555101667i	- 0.14441642 2863715 + 0.12936569 2995259i
4	0.04157655 49190670 + 1.93815700 872291i	0.22064379 2381548 - 0.41515502 8718775i	0.04637835 68563321 - 0.13867848 9535143i	0.00984702 083605597 + 0.12391286 1587951i
5	- 0.13295615 1594028 - 1.42550083 613574i	0.30083694 6218063 - 0.27049797 3816132i	- 0.17450668 5732756 + 0.03754008 05568553i	- 0.11585741 6539607 + 0.26778348 3546866i
6	- 0.61794977 0298954 - 0.13744583 1712012i	0.73516798 1668330 - 0.75536386 1171519i	- 0.02751586 98035327 + 0.00398599 476285108i	- 0.12861949 4333116 + 0.11997550 2773581i
7	0.06966160 03026018 + 0.48688366 3625571i	- 0.56108175 6465620 + 0.56646547 0264114i	- 0.06224672 93161207 + 0.08258849 44959028i	0.07138162 06685094 + 0.26892414 9143690i
8	0.23158413 1299716 + 0.48710226 0476338i	0.82970647 9863498 - 0.76946127 1706509i	- 0.15349503 5685700 + 0.05604028 24958102i	0.09889649 85575892 - 0.17982865 1663648i
9	- 0.32648997 7530946 + 0.03199814 63032397i	0.18234263 1176859 + 0.66007650 7739072i	0.13996804 6993756 + 0.06894722 32285533i	0.03776154 29222405 + 0.06999728 36896126i
10	- 0.41141919 8738093 +	- 0.00625370 246016011 +	- 0.10774968 1007507 +	0.05813580 34981491 - 0.20433473 4977009i



	0.18459554 1733116i	0.66550915 1156483i	0.06442316 43077752i	
11	0.09374183 46864733 + 0.04388225 66344246i	0.65268555 1582857 + 0.26402497 7036935i	0.11731201 6259230 - 0.17798706 5469651i	- 0.21802962 9990868 - 0.13672272 1093591i
12	0.44490304 1473762 + 0.12538361 8085333i	0.42605789 4943040 + 0.13908783 4183551i	- 0.05026397 71811250 - 0.15474267 7207163i	0.01847213 30642003 - 0.06059212 45025976i
13	1.88628807 434320 + 0.55092355 2928704i	1.95237647 671375 - 0.52022934 0984085i	0.16281864 6296563 + 0.13511806 4651281i	0.19798154 5104864 - 0.07861399 23338583i
14	- 2.34039548 796786 + 0.87713016 4713862i	3.32283413 976935 + 1.23407128 017118i	- 0.39471949 8116687 - 0.00612406 281211979i	0.00446454 794144412 - 0.24060793 9954914i
15	- 1.21101581 998106 + 1.60364831 885401i	- 1.13433781 299327 + 2.60942306 991327i	0.20662394 0850001 + 0.10510817 2907585i	- 0.13091795 2862805 - 0.00144280 897782924i
16	- 1.39772086 124701 + 0.61972612 4122288i	- 1.91856625 321440 + 1.96032981 769045i	- 0.24920831 3486177 - 0.13064058 7681524i	- 0.25145156 1552301 + 0.06434432 62952793i
17	- 1.55663960 038821 - 1.42384981 182657i	0.91961964 3924111 - 1.18211304 237266i	- 0.12773720 6438333 - 0.00451994 115458396i	- 0.10438072 1265803 - 0.10029088 5079020i
18	- 1.25462109 601186 +	1.34512478 164536 -	0.05744092 61506288 +	0.08296254 79476055 +

	0.61501148 2154311i	1.28512407 168380i	0.00291296 401132559i	0.14070314 6930010i
19	- 1.22224336 528458 + 0.51619777 8868793i	- 0.86871119 8945514 - 1.09056064 527418i	0.00085705 6053669598 + 0.15326184 6412777i	- 0.13719521 5563527 + 0.19742792 8603229i
20	- 0.40605907 6537142 - 0.36549061 9218250i	0.78147312 9616085 - 1.17850801 324566i	0.03844504 75057461 + 0.04063908 41777007i	- 0.12806657 4814462 + 0.02936680 20810859i
21	0.80549643 9751121 - 0.04490478 75265548i	- 1.70802406 235031 + 0.16019666 6543396i	0.10798669 3166198 + 0.00304179 753506519i	- 0.06477151 98657386 - 0.37912012 4536613i
22	0.33487910 5588508 - 0.13559903 4422960i	- 1.71988033 750858 - 0.69542589 1817915i	- 0.17199123 0226153 + 0.12023896 7166370i	- 0.18998097 7839857 + 0.10696798 3699886i
23	- 0.29203774 3504765 - 3.21171207 987261i	3.27286887 534452 - 0.47034883 2300904i	0.32968545 1179703 + 0.09551385 73240135i	0.10328929 5212965 - 0.21169937 1123473i
24	- 1.72234290 791030 - 0.16677834 5622151i	- 2.94804289 562195 - 0.75993174 4230398i	0.10915405 8886562 - 0.32288529 9570024i	- 0.14629836 7629433 + 0.16650056 0104488i
25	- 1.25755838 509107 + 0.69402379 4205809i	- 3.13879034 230054 - 1.43124994 634018i	0.42925796 1685542 + 0.01481628 55650884i	- 0.08314497 54588832 - 0.12504596 1434395i
26	0.97441772 6079728 -	- 0.87375600	- 0.50144704	0.00706446 493956917

	0.46947264 5644625i	7498777 - 1.64170281 654664i	0967564 - 0.47329652 8485540i	+ 0.10712569 0168928i
27	1.07914881 247848 + 1.12074908 896891i	0.71747352 3518124 + 0.99535688 6799682i	- 0.14619660 3666942 + 0.29432971 5973240i	- 0.19701531 9793447 + 0.14632778 4449573i
28	- 0.64094517 2958869 + 0.72623580 1408580i	- 3.34866139 041051 - 0.69108213 0994751i	0.49313129 6065573 - 0.07956656 66449496i	- 0.04885380 74729660 + 0.21475234 4125142i
29	- 1.12470393 657614 - 0.74256483 5158449i	1.69647091 836361 - 1.50700885 635018i	- 0.32072317 7820332 + 0.24442180 5643380i	- 0.30694488 5499460 + 0.29979341 3890100i
30	- 0.70922301 2332636 + 0.46561962 8005419i	1.78367571 088509 + 0.09753345 23192537i	0.24539597 5314002 - 0.41350218 7140734i	0.08969227 62143386 + 0.19720146 9908708i
31	- 0.77315163 5885976 - 0.63563400 0166773i	- 1.87770940 071139 + 1.54507193 676112i	- 0.38140075 6731967 + 0.25016414 5660404i	- 0.19308112 7720912 - 0.36990983 0379170i
32	- 0.84561358 8586725 - 2.46082055 063974i	1.94388780 370373 - 1.18153484 109059i	- 0.03406179 58465512 + 0.32751052 4807213i	0.04318628 54250836 - 0.07994355 94794407i
33	- 3.10388759 510671 + 0.32236129 7538190i	- 3.64796943 135333 + 1.37973051 058034i	0.40246379 2834557 + 0.08115450 77687170i	- 0.11173077 3311501 + 0.15180838 0865590i

34	- 0.56920509 4163936 - 0.94030649 2786735i	5.54049439 951342 - 0.05781811 83949809i	- 0.38815596 6286261 + 0.23948880 4611968i	0.13042210 7175439 + 0.20859146 1581627i
35	- 3.12032517 812348 + 0.55968745 9375493i	1.78029399 469673 - 3.07114985 607548i	0.03713640 49945548 + 0.24298320 2839551i	- 0.09432479 89165893 + 0.13525180 2115201i
36	- 2.78510078 206100 - 1.46712447 335626i	- 1.60739005 094002 - 3.06480029 809696i	0.22997962 5397792 - 0.15317920 5263690i	0.24998723 7833405 + 0.00387600 732389287i
37	0.39460518 6946763 + 2.64261458 323313i	2.66122256 041760 - 3.49361399 875564i	0.28558049 5868020 + 0.50792381 0211838i	- 0.18471728 4402050 - 0.01650292 88251945i
38	0.41115581 0390303 + 2.03251423 875839i	0.75217495 9113458 - 3.19585652 757786i	2.79174733 993322 + 2.88247459 810651i	0.73106436 1907709 - 3.54051018 654299i
39	2.74186582 634490 - 0.78758758 9598920i	2.88663085 064160 - 1.58549023 547073i	- 3.02218452 654765 - 2.06941394 378323i	- 2.76541627 399089 + 5.91878629 029922i
40	2.13452701 834147 + 2.08569909 455293i	0.90527809 4201769 + 3.41004158 079221i	0.86627273 3489728 - 3.32145571 004385i	2.22653396 351231 - 4.13343401 348787i
41	- 2.26859816 224074 - 0.23054652 2657410i	- 1.58024798 449392 + 2.43372890 339110i	- 0.73069667 9213219 - 2.42731055 820875i	- 3.08910465 224168 + 1.00640490 955552i

42	- 0.70519123 3805925 + 2.61589032 713752i	- 0.02285306 79627245 - 2.58313060 380620i	- 2.49605825 349267 + 2.49863572 365445i	4.16301344 040482 - 1.06819677 590305i
43	- 1.88172901 260274 - 1.44440311 918989i	0.25779087 3174688 + 1.04958566 166635i	0.03318502 60183079 + 1.32111950 856270i	- 2.69644807 134317 + 0.88100465 7653134i
44	- 0.31636214 3492664 - 2.09506093 174878i	- 1.51677193 140393 + 3.55595601 564124i	- 0.39516428 5544103 + 2.50162737 422325i	- 1.69647983 115230 - 0.46619818 8157866i
45	1.70025311 946390 + 0.61474728 0493264i	1.82114767 471416 + 1.33256138 456103i	- 0.60253725 5371505 + 1.61608108 312703i	1.96704258 490513 - 0.65316596 3524724i
46	0.02289667 94814352 - 1.77391347 430196i	- 1.54544413 767736 - 1.82501994 388884i	- 2.95187977 467600 + 1.46138377 349159i	- 0.50000825 6232480 - 3.16046470 054540i
47	- 1.53036696 104224 - 1.82778936 090517i	2.00261891 791975 - 1.77966851 106039i	0.08999321 73327249 + 2.73740996 101191i	2.57269432 249094 + 2.38884491 371587i
48	- 1.88172901 260274 - 1.44440311 918989i	0.25779087 3174688 + 1.04958566 166635i	- 2.48985489 878511 - 4.27023819 924120i	0.79136951 0822400 - 4.44068771 436614i
49	- 0.31636214 3492664 -	- 1.51677193 140393 +	5.21336986 299432 + 1.85320826 560137i	4.12163207 417776 - 5.03711638 263181i

	2.09506093 174878i	3.55595601 564124i		
50	1.70025311 946390 + 0.61474728 0493264i	1.82114767 471416 + 1.33256138 456103i	2.29837019 162832 + 2.32014065 292620i	- 4.91462840 270388 - 2.46445657 427656i
51	0.02289667 94814352 - 1.77391347 430196i	- 1.54544413 767736 - 1.82501994 388884i	- 1.67403605 815811 + 0.31012008 7884770i	5.61639997 176596 + 0.28135565 0620611i
52	- 1.53036696 104224 - 1.82778936 090517i	2.00261891 791975 - 1.77966851 106039i	- 2.55960972 868974 - 2.67881575 645122i	3.24156368 283310 - 5.60981952 851611i
53	0.43599183 1083363 - 0.07032152 53169963i	- 0.16372376 1944288 - 0.25305304 2492944i	- 1.17933857 497856 - 0.75756963 8270631i	4.48335481 494911 + 1.27896027 027447i
54	0.52913173 8204420 + 0.38055003 9197867i	0.11016387 0049196 + 0.37875827 9733871i	- 0.45566504 9933233 + 3.57314561 982231i	- 2.19967401 057948 - 2.39579580 978050i
55	- 0.42055142 1643346 + 0.16035382 9092694i	- 0.00322242 250455755 + 0.34626141 9633458i	3.23332166 262426 - 0.36616807 6196799i	1.57495075 356741 - 2.47926308 770555i
56	- 0.33363536 1091407 + 0.31052725 5834660i	- 0.22196409 1080687 + 0.07793766 31549836i	- 2.50803689 963772 - 2.27416284 904040i	- 2.41633905 429364 + 1.17026064 491808i

57	0.15147038 9130024 + 0.18002763 5547573i	- 0.12936366 6546356 + 0.14813951 1001897i	- 1.65232744 492142 + 0.28693336 7672447i	2.37041185 262457 + 0.07463723 14150220i
----	---	--	---	---

## D.2 Hasil *Energy Bit per Noise Ratio* SISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	SISO1	SISO2	SISO3	SISO4
	Eb/No (dB)			
1	7,7978	18,8815	1,207223	12,89694
2	23,74993	29,35862	4,991645	9,964891
3	10,78481	20,09545	7,912396	10,83126
4	30,82918	18,52331	8,383522	6,982701
5	28,19629	17,21987	10,11729	14,37868
6	21,10866	25,53652	-6,03876	9,978969
7	18,91574	23,11191	5,373222	13,96679
8	19,71682	26,15318	9,344497	11,3222
9	15,39751	21,79019	8,935447	3,072789
10	18,16076	21,54244	7,065955	11,62115
11	5,373222	22,03157	11,64994	13,28796
12	18,37743	18,10918	9,311843	1,099984
13	30,94706	31,18854	11,59216	11,64994
14	33,03596	36,07073	17,00506	12,70617
15	31,14126	34,16198	12,37913	7,409345
16	28,76727	33,84376	14,06664	13,36598
17	31,56347	28,58787	7,20126	8,301577
18	27,98485	30,47127	0,264523	9,344497
19	27,53525	27,96635	8,790063	12,69866
20	19,82883	28,08882	-0,007	7,459845

21	23,21386	29,76729	5,761243	16,77907
22	16,23549	30,44699	11,51391	11,84632
23	35,24988	35,46674	15,79084	12,52231
24	29,84234	34,74948	15,73145	11,9902
25	28,22459	35,83504	17,73935	8,601209
26	25,76087	30,46839	21,85089	5,686362
27	28,91861	26,85619	15,41362	12,87535
28	24,80234	35,75794	19,05009	11,9368
29	27,6715	32,1967	17,19059	17,72992
30	23,6515	30,11865	18,71926	11,79111
31	25,08719	32,79746	18,26002	17,48737
32	33,38572	32,21824	15,42968	4,270165
33	34,96408	36,90105	17,34796	10,58167
34	25,90077	39,95082	18,26002	12,89694
35	35,10091	36,08357	12,88975	9,425073
36	35,03977	35,86276	13,91032	13,03818
37	33,61582	37,93212	20,38778	10,44497
38	31,41427	35,40529	37,14832	36,24204
39	34,18461	35,43224	36,35565	41,38159
40	34,57636	36,03034	35,79176	38,51203
41	32,23917	34,33261	33,15866	35,31413
42	33,73646	33,32266	36,03927	37,74445
43	32,58231	25,75418	27,50107	34,13572
44	31,60127	36,82446	33,15088	29,98655
45	30,22327	32,14852	29,81396	31,40993
46	30,05877	32,65266	35,43336	35,18175
47	32,62501	33,63924	33,83087	35,98736
48	32,58231	25,75418	38,95938	38,16417
49	31,60127	36,82446	39,93853	41,34898



50	30,22327	32,14852	35,35924	39,88335
51	30,05877	32,65266	29,70127	40,07943
52	32,62501	33,63924	36,45536	41,30958
53	17,97973	14,66024	28,01257	38,45122
54	21,36123	16,99948	36,21046	35,32358
55	18,14578	15,86758	35,32769	34,43808
56	18,25375	12,50664	35,67203	33,65765
57	12,51448	10,95649	29,57031	32,58015

### **D.3 Hasil Energy Bit per Noise Ratio SIMO dan MISO Surabaya-Malang**

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
	Eb/No (dB)			
1	8,658732	19,85783	19,20735	13,18171
2	23,80735	29,40828	30,41329	11,16464
3	12,59217	20,58167	20,57677	12,62287
4	30,85384	18,8177	31,07734	10,74965
5	28,26336	19,03789	28,52998	15,76124
6	21,11703	25,65566	26,87433	10,08628
7	19,10372	23,61089	24,51235	14,52914
8	20,09819	26,29367	27,04225	13,45527
9	16,28183	21,84815	22,68738	9,936598
10	18,48581	21,96358	23,18305	12,92556
11	12,56901	22,57597	22,12432	15,55603
12	18,88511	18,1948	21,25568	9,922382
13	30,99715	31,23657	34,07978	14,63145
14	33,14295	36,0907	37,8235	18,37743
15	31,19863	34,17115	35,91942	13,57972

16	28,91197	33,88249	35,01881	16,74072
17	31,57935	28,62834	33,33598	10,79647
18	27,99218	30,50465	32,41392	9,850597
19	27,59285	28,09359	30,76645	14,18029
20	19,8737	28,12623	28,69307	8,175686
21	23,29124	29,98023	30,63492	17,10971
22	17,49734	30,50652	30,60862	14,69359
23	35,2988	35,48873	38,36996	17,46737
24	30,00769	34,77242	35,96528	17,26211
25	28,59657	35,84324	36,52936	18,23909
26	27,2421	30,4828	31,73379	21,95467
27	29,10819	27,02647	31,019	17,33764
28	25,82645	35,77592	36,09318	19,82155
29	28,04384	32,34926	33,50891	20,47892
30	24,86119	30,18202	31,00204	19,52139
31	25,90652	32,92349	33,47718	20,90115
32	33,4547	32,2252	35,85139	15,75009
33	35,03863	36,91117	39,04997	18,17781
34	26,59063	39,95937	40,11846	19,36883
35	35,12694	36,09294	38,63028	14,50443
36	35,07313	35,88536	38,48103	16,50641
37	33,81759	37,93986	39,29978	20,80694
38	38,17626	38,85409	36,86325	39,72908
39	38,4147	42,36503	37,86338	42,56868
40	38,23674	40,45639	38,37422	40,37179
41	35,7335	37,86134	36,42112	37,37907
42	38,04904	39,08387	36,54479	39,98532
43	33,75624	34,72438	33,40147	34,98876
44	35,45512	37,64194	37,96518	34,86105

45	33,03373	34,80521	34,30202	33,69515
46	36,53958	37,10906	34,55686	38,31968
47	36,27995	37,9804	36,17196	38,05191
48	39,85949	38,40662	33,40147	41,59025
49	40,53283	42,66137	37,96518	43,71107
50	36,52027	40,55952	34,30202	41,19584
51	32,89399	40,80138	34,55686	40,46031
52	37,95975	41,99511	36,17196	42,53836
53	28,42352	38,46932	19,64001	38,82705
54	36,35037	35,387	22,71666	38,79992
55	35,41	34,49802	20,16468	37,91592
56	35,75002	33,69084	19,27894	37,7909
57	29,65502	32,60993	14,81528	34,34121

#### D.4 Hasil SNR SISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
	SNR (dB)			
1	-9,48378	12,68361	-22,6649	0,714491
2	22,42048	33,63787	-15,0961	-5,1496
3	-3,50976	15,11152	-9,25459	-3,41686
4	36,57898	11,96723	-8,31234	-11,114
5	31,31319	9,360358	-4,8448	3,677975
6	17,13794	25,99367	-37,1569	-5,12145
7	12,7521	21,14443	-14,3329	2,854203
8	14,35426	27,22698	-6,39039	-2,43497
9	5,715629	18,50099	-7,20849	-18,9338
10	11,24213	18,0055	-10,9475	-1,83709
11	-14,3329	18,98376	-1,7795	1,496544

12	11,67547	11,13898	-6,4557	-22,8794
13	36,81473	37,2977	-1,89506	-1,7795
14	40,99254	47,06208	8,930733	0,332955
15	37,20314	43,24458	-0,32113	-10,2607
16	32,45516	42,60813	3,053888	1,652582
17	38,04756	32,09636	-10,6769	-8,47623
18	30,89032	35,86316	-24,5503	-6,39039
19	29,99112	30,85331	-7,49926	0,317941
20	14,57827	31,09825	-25,0934	-10,1597
21	21,34833	34,45519	-13,5569	8,478747
22	7,391594	35,81459	-2,05156	-1,38674
23	45,42038	45,85409	6,50229	-0,03476
24	34,60529	44,41957	6,383507	-1,09899
25	31,36979	46,59069	10,39931	-7,87697
26	26,44236	35,85739	18,62239	-13,7067
27	32,75784	28,633	5,747859	0,671314
28	24,52529	46,43649	13,02079	-1,20578
29	30,26361	39,31401	9,301795	10,38046
30	22,22362	35,15792	12,35914	-1,49716
31	25,095	40,51554	11,44065	9,895359
32	41,69206	39,35709	5,77997	-16,5391
33	44,84878	48,72271	9,616535	-3,91605
34	26,72216	54,82226	11,44065	0,714491
35	45,12245	47,08776	0,700123	-6,22924
36	45,00016	46,64613	2,741251	0,996984
37	42,15225	50,78486	15,69618	-4,18945
38	37,74916	45,7312	49,21725	47,4047
39	43,28984	45,7851	47,63191	57,68379
40	44,07333	46,98131	46,50413	51,94468

41	39,39895	43,58583	41,23793	45,54888
42	42,39354	41,56594	46,99915	50,40952
43	40,08523	26,42898	29,92276	43,19206
44	38,12315	48,56953	41,22237	34,89372
45	35,36715	39,21766	34,54854	37,74047
46	35,03815	40,22594	45,78734	45,28411
47	40,17063	42,19909	42,58235	46,89533
48	40,08523	26,42898	52,83938	51,24896
49	38,12315	48,56953	54,79767	57,61859
50	35,36715	39,21766	45,63909	54,68731
51	35,03815	40,22594	34,32315	55,07947
52	40,17063	42,19909	47,83134	57,53978
53	10,88008	4,241101	30,94575	51,82306
54	17,64307	8,919576	47,34153	45,56778
55	11,21217	6,655768	45,57599	43,79678
56	11,42811	-0,06611	46,26467	42,23592
57	-0,05042	-3,1664	34,06123	40,08091

#### D.5 Hasil CDF SNR SISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4	Ratio Probability
	SNR (dB)				
1	-14,3329	-3,1664	-37,1569	-22,8794	0,017544
2	-9,48378	-0,06611	-25,0934	-18,9338	0,035088
3	-3,50976	4,241101	-24,5503	-16,5391	0,052632
4	-0,05042	6,655768	-22,6649	-13,7067	0,070175
5	5,715629	8,919576	-15,0961	-11,114	0,087719
6	7,391594	9,360358	-14,3329	-10,2607	0,105263
7	10,88008	11,13898	-13,5569	-10,1597	0,122807

8	11,21217	11,96723	-10,9475	-8,47623	0,140351
9	11,24213	12,68361	-10,6769	-7,87697	0,157895
10	11,42811	15,11152	-9,25459	-6,39039	0,175439
11	11,67547	18,0055	-8,31234	-6,22924	0,192982
12	12,7521	18,50099	-7,49926	-5,1496	0,210526
13	14,35426	18,98376	-7,20849	-5,12145	0,22807
14	14,57827	21,14443	-6,4557	-4,18945	0,245614
15	17,13794	25,99367	-6,39039	-3,91605	0,263158
16	17,64307	26,42898	-4,8448	-3,41686	0,280702
17	21,34833	26,42898	-2,05156	-2,43497	0,298246
18	22,22362	27,22698	-1,89506	-1,83709	0,315789
19	22,42048	28,633	-1,7795	-1,7795	0,333333
20	24,52529	30,85331	-0,32113	-1,49716	0,350877
21	25,095	31,09825	0,700123	-1,38674	0,368421
22	26,44236	32,09636	2,741251	-1,20578	0,385965
23	26,72216	33,63787	3,053888	-1,09899	0,403509
24	29,99112	34,45519	5,747859	-0,03476	0,421053
25	30,26361	35,15792	5,77997	0,317941	0,438596
26	30,89032	35,81459	6,383507	0,332955	0,45614
27	31,31319	35,85739	6,50229	0,671314	0,473684
28	31,36979	35,86316	8,930733	0,714491	0,491228
29	32,45516	37,2977	9,301795	0,714491	0,508772
30	32,75784	39,21766	9,616535	0,996984	0,526316
31	34,60529	39,21766	10,39931	1,496544	0,54386
32	35,03815	39,31401	11,44065	1,652582	0,561404
33	35,03815	39,35709	11,44065	2,854203	0,578947
34	35,36715	40,22594	12,35914	3,677975	0,596491
35	35,36715	40,22594	13,02079	8,478747	0,614035
36	36,57898	40,51554	15,69618	9,895359	0,631579

37	36,81473	41,56594	18,62239	10,38046	0,649123
38	37,20314	42,19909	29,92276	34,89372	0,666667
39	37,74916	42,19909	30,94575	37,74047	0,684211
40	38,04756	42,60813	34,06123	40,08091	0,701754
41	38,12315	43,24458	34,32315	42,23592	0,719298
42	38,12315	43,58583	34,54854	43,19206	0,736842
43	39,39895	44,41957	41,22237	43,79678	0,754386
44	40,08523	45,7312	41,23793	45,28411	0,77193
45	40,08523	45,7851	42,58235	45,54888	0,789474
46	40,17063	45,85409	45,57599	45,56778	0,807018
47	40,17063	46,43649	45,63909	46,89533	0,824561
48	40,99254	46,59069	45,78734	47,4047	0,842105
49	41,69206	46,64613	46,26467	50,40952	0,859649
50	42,15225	46,98131	46,50413	51,24896	0,877193
51	42,39354	47,06208	46,99915	51,82306	0,894737
52	43,28984	47,08776	47,34153	51,94468	0,912281
53	44,07333	48,56953	47,63191	54,68731	0,929825
54	44,84878	48,56953	47,83134	55,07947	0,947368
55	45,00016	48,72271	49,21725	57,53978	0,964912
56	45,12245	50,78486	52,83938	57,61859	0,982456
57	45,42038	54,82226	54,79767	57,68379	1

#### D.6 Hasil SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
	SNR (dB)			
1	-7,76192	14,63627	13,33531	1,284034
2	22,53532	33,73717	35,7472	-2,7501
3	0,104966	16,08395	16,07416	0,166351

4	36,6283	12,55601	37,0753	-3,58009
5	31,44733	12,99639	31,98058	6,443101
6	17,15467	26,23195	28,66927	-4,90683
7	13,12805	22,14239	23,94532	3,978902
8	15,11699	27,50795	29,00512	1,831153
9	7,48428	18,61691	20,29537	-5,20619
10	11,89223	18,84778	21,28672	0,77173
11	0,058641	20,07256	19,16926	6,032668
12	12,69084	11,31022	17,43197	-5,23462
13	36,91492	37,39376	43,08017	4,183515
14	41,20651	47,10202	50,56762	11,67547
15	37,31788	43,26291	46,75946	2,080049
16	32,74456	42,68559	44,95824	8,402063
17	38,07931	32,1773	41,59258	-3,48644
18	30,90498	35,92992	39,74847	-5,37819
19	30,10631	31,1078	36,45351	3,281195
20	14,66801	31,17307	32,30676	-8,72801
21	21,5031	34,88108	36,19046	9,140042
22	9,915293	35,93365	36,13786	4,307806
23	45,51821	45,89807	51,66054	9,855355
24	34,93599	44,46547	46,85118	9,444841
25	32,11376	46,60709	47,97933	11,39879
26	29,40481	35,88622	38,38819	18,82996
27	33,13699	28,97355	36,95861	9,595904
28	26,57352	46,47245	47,10697	14,56371
29	31,0083	39,61914	41,93843	15,87846
30	24,64299	35,28465	36,9247	13,9634
31	26,73366	40,76759	41,87498	16,72292
32	41,83002	39,37101	46,6234	6,420801



33	44,99788	48,74296	53,02055	11,27624
34	28,10188	54,83936	55,15754	13,65827
35	45,17449	47,10649	52,18117	3,929466
36	45,06687	46,69134	51,88267	7,933429
37	42,55579	50,80034	53,52018	16,53449
38	51,27314	52,62879	48,64712	54,37877
39	51,75002	59,65068	50,64737	60,05798
40	51,39409	55,8334	51,66905	55,66419
41	46,38762	50,64329	47,76286	49,67875
42	51,0187	53,08835	48,01019	54,89125
43	42,43309	44,36939	41,72356	44,89814
44	45,83086	50,2045	50,85099	44,64272
45	40,98809	44,53103	43,52465	42,31091
46	47,99977	49,13874	44,03433	51,55997
47	47,48053	50,88141	47,26454	51,02444
48	54,6396	51,73385	41,72356	58,10112
49	55,98627	60,24336	50,85099	62,34275
50	47,96115	56,03965	43,52465	57,3123
51	40,7086	56,52338	44,03433	55,84123
52	50,84012	58,91083	47,26454	59,99735
53	31,76765	51,85926	14,20063	52,57472
54	47,62135	45,69462	20,35393	52,52046
55	45,74062	43,91667	15,24998	50,75246
56	46,42065	42,3023	13,4785	50,50241
57	34,23066	40,14047	4,551176	43,60304

#### **D.7 Hasil CDF SNR SIMO dan MISO Surabaya-Malang**

	SIMO1	SIMO2	MISO1	MISO2	
--	-------	-------	-------	-------	--

Indeks Sampel	SNR (dB)				Ratio Probability
1	-7,76192	11,31022	4,551176	-8,72801	0,017544
2	0,058641	12,55601	13,33531	-5,37819	0,035088
3	0,104966	12,99639	13,4785	-5,23462	0,052632
4	7,48428	14,63627	14,20063	-5,20619	0,070175
5	9,915293	16,08395	15,24998	-4,90683	0,087719
6	11,89223	18,61691	16,07416	-3,58009	0,105263
7	12,69084	18,84778	17,43197	-3,48644	0,122807
8	13,12805	20,07256	19,16926	-2,7501	0,140351
9	14,66801	22,14239	20,29537	0,166351	0,157895
10	15,11699	26,23195	20,35393	0,77173	0,175439
11	17,15467	27,50795	21,28672	1,284034	0,192982
12	21,5031	28,97355	23,94532	1,831153	0,210526
13	22,53532	31,1078	28,66927	2,080049	0,22807
14	24,64299	31,17307	29,00512	3,281195	0,245614
15	26,57352	32,1773	31,98058	3,929466	0,263158
16	26,73366	33,73717	32,30676	3,978902	0,280702
17	28,10188	34,88108	35,7472	4,183515	0,298246
18	29,40481	35,28465	36,13786	4,307806	0,315789
19	30,10631	35,88622	36,19046	6,032668	0,333333
20	30,90498	35,92992	36,45351	6,420801	0,350877
21	31,0083	35,93365	36,9247	6,443101	0,368421
22	31,44733	37,39376	36,95861	7,933429	0,385965
23	31,76765	39,37101	37,0753	8,402063	0,403509
24	32,11376	39,61914	38,38819	9,140042	0,421053
25	32,74456	40,14047	39,74847	9,444841	0,438596
26	33,13699	40,76759	41,59258	9,595904	0,45614
27	34,23066	42,3023	41,72356	9,855355	0,473684

28	34,93599	42,68559	41,72356	11,27624	0,491228
29	36,6283	43,26291	41,87498	11,39879	0,508772
30	36,91492	43,91667	41,93843	11,67547	0,526316
31	37,31788	44,36939	43,08017	13,65827	0,54386
32	38,07931	44,46547	43,52465	13,9634	0,561404
33	40,7086	44,53103	43,52465	14,56371	0,578947
34	40,98809	45,69462	44,03433	15,87846	0,596491
35	41,20651	45,89807	44,03433	16,53449	0,614035
36	41,83002	46,47245	44,95824	16,72292	0,631579
37	42,43309	46,60709	46,6234	18,82996	0,649123
38	42,55579	46,69134	46,75946	42,31091	0,666667
39	44,99788	47,10202	46,85118	43,60304	0,684211
40	45,06687	47,10649	47,10697	44,64272	0,701754
41	45,17449	48,74296	47,26454	44,89814	0,719298
42	45,51821	49,13874	47,26454	49,67875	0,736842
43	45,74062	50,2045	47,76286	50,50241	0,754386
44	45,83086	50,64329	47,97933	50,75246	0,77193
45	46,38762	50,80034	48,01019	51,02444	0,789474
46	46,42065	50,88141	48,64712	51,55997	0,807018
47	47,48053	51,73385	50,56762	52,52046	0,824561
48	47,62135	51,85926	50,64737	52,57472	0,842105
49	47,96115	52,62879	50,85099	54,37877	0,859649
50	47,99977	53,08835	50,85099	54,89125	0,877193
51	50,84012	54,83936	51,66054	55,66419	0,894737
52	51,0187	55,8334	51,66905	55,84123	0,912281
53	51,27314	56,03965	51,88267	57,3123	0,929825
54	51,39409	56,52338	52,18117	58,10112	0,947368
55	51,75002	58,91083	53,02055	59,99735	0,964912
56	54,6396	59,65068	53,52018	60,05798	0,982456

57	55,98627	60,24336	55,15754	62,34275	1
----	----------	----------	----------	----------	---

#### D.8 Hasil BER SISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	SISO 1	SISO 2	SISO 3	SISO 4
	BER			
1	0,036966	0,003203	0,122823	0,012357
2	0,001051	0,00029	0,064283	0,023444
3	0,019645	0,002428	0,036105	0,019448
4	0,000206	0,003476	0,03275	0,043626
5	0,000378	0,004675	0,02269	0,008879
6	0,001926	0,000697	0,276767	0,023374
7	0,003178	0,001217	0,059806	0,009737
8	0,002647	0,000605	0,02676	0,017477
9	0,007062	0,001647	0,029176	0,090776
10	0,003775	0,001743	0,042901	0,016371
11	0,059806	0,001559	0,016268	0,011329
12	0,003593	0,00382	0,026946	0,124839
13	0,000201	0,00019	0,016475	0,016268
14	0,000124	6,18E-05	0,004909	0,012891
15	0,000192	9,59E-05	0,013857	0,04002
16	0,000332	0,000103	0,009522	0,011134
17	0,000174	0,000346	0,041745	0,033313
18	0,000397	0,000224	0,141105	0,02676
19	0,00044	0,000399	0,030082	0,012912
20	0,00258	0,000388	0,146589	0,039611
21	0,001189	0,000264	0,055513	0,005167
22	0,005844	0,000225	0,01676	0,015582
23	7,46E-05	7,10E-05	0,006462	0,013426

24	0,000259	8,37E-05	0,006549	0,015097
25	0,000376	6,52E-05	0,004155	0,031296
26	0,000662	0,000224	0,001625	0,056322
27	0,00032	0,000515	0,007036	0,012416
28	0,000825	6,64E-05	0,003082	0,015275
29	0,000427	0,000151	0,004707	0,004164
30	0,001075	0,000243	0,003324	0,015772
31	0,000773	0,000131	0,003691	0,0044
32	0,000115	0,00015	0,007011	0,073458
33	7,97E-05	5,10E-05	0,004541	0,020529
34	0,000641	2,53E-05	0,003691	0,012357
35	7,72E-05	6,16E-05	0,012377	0,026307
36	7,83E-05	6,48E-05	0,009861	0,011976
37	0,000109	4,02E-05	0,002271	0,021144
38	0,00018	7,20E-05	4,82E-05	5,94E-05
39	9,54E-05	7,16E-05	5,78E-05	1,82E-05
40	8,71E-05	6,23E-05	6,59E-05	3,52E-05
41	0,000149	9,22E-05	0,000121	7,35E-05
42	0,000106	0,000116	6,22E-05	4,20E-05
43	0,000138	0,000663	0,000444	9,64E-05
44	0,000173	5,19E-05	0,000121	0,000251
45	0,000237	0,000152	0,000261	0,000181
46	0,000246	0,000136	7,15E-05	7,58E-05
47	0,000137	0,000108	0,000103	6,30E-05
48	0,000138	0,000663	3,18E-05	3,81E-05
49	0,000173	5,19E-05	2,54E-05	1,83E-05
50	0,000237	0,000152	7,28E-05	2,57E-05
51	0,000246	0,000136	0,000268	2,45E-05
52	0,000137	0,000108	5,65E-05	1,85E-05

53	0,003934	0,008336	0,000395	3,57E-05
54	0,001817	0,004915	5,98E-05	7,34E-05
55	0,003788	0,006351	7,33E-05	9,00E-05
56	0,003696	0,013472	6,77E-05	0,000108
57	0,013449	0,018927	0,000276	0,000138

#### D.9 Hasil CDF BER SISO Surabaya-Malang

Indeks Sampel	siso 1	siso 2	siso 3	siso 4	Ratio Probability
	BER				
1	7,46E-05	2,53E-05	2,54E-05	1,82E-05	0,017544
2	7,72E-05	4,02E-05	3,18E-05	1,83E-05	0,035088
3	7,83E-05	5,10E-05	4,82E-05	1,85E-05	0,052632
4	7,97E-05	5,19E-05	5,65E-05	2,45E-05	0,070175
5	8,71E-05	5,19E-05	5,78E-05	2,57E-05	0,087719
6	9,54E-05	6,16E-05	5,98E-05	3,52E-05	0,105263
7	0,000106	6,18E-05	6,22E-05	3,57E-05	0,122807
8	0,000109	6,23E-05	6,59E-05	3,81E-05	0,140351
9	0,000115	6,48E-05	6,77E-05	4,20E-05	0,157895
10	0,000124	6,52E-05	7,15E-05	5,94E-05	0,175439
11	0,000137	6,64E-05	7,28E-05	6,30E-05	0,192982
12	0,000137	7,10E-05	7,33E-05	7,34E-05	0,210526
13	0,000138	7,16E-05	0,000103	7,35E-05	0,22807
14	0,000138	7,20E-05	0,000121	7,58E-05	0,245614
15	0,000149	8,37E-05	0,000121	9,00E-05	0,263158
16	0,000173	9,22E-05	0,000261	9,64E-05	0,280702
17	0,000173	9,59E-05	0,000268	0,000108	0,298246
18	0,000174	0,000103	0,000276	0,000138	0,315789
19	0,00018	0,000108	0,000395	0,000181	0,333333

20	0,000192	0,000108	0,000444	0,000251	0,350877
21	0,000201	0,000116	0,001625	0,004164	0,368421
22	0,000206	0,000131	0,002271	0,0044	0,385965
23	0,000237	0,000136	0,003082	0,005167	0,403509
24	0,000237	0,000136	0,003324	0,008879	0,421053
25	0,000246	0,00015	0,003691	0,009737	0,438596
26	0,000246	0,000151	0,003691	0,011134	0,45614
27	0,000259	0,000152	0,004155	0,011329	0,473684
28	0,00032	0,000152	0,004541	0,011976	0,491228
29	0,000332	0,00019	0,004707	0,012357	0,508772
30	0,000376	0,000224	0,004909	0,012357	0,526316
31	0,000378	0,000224	0,006462	0,012416	0,54386
32	0,000397	0,000225	0,006549	0,012891	0,561404
33	0,000427	0,000243	0,007011	0,012912	0,578947
34	0,00044	0,000264	0,007036	0,013426	0,596491
35	0,000641	0,00029	0,009522	0,015097	0,614035
36	0,000662	0,000346	0,009861	0,015275	0,631579
37	0,000773	0,000388	0,012377	0,015582	0,649123
38	0,000825	0,000399	0,013857	0,015772	0,666667
39	0,001051	0,000515	0,016268	0,016268	0,684211
40	0,001075	0,000605	0,016475	0,016371	0,701754
41	0,001189	0,000663	0,01676	0,017477	0,719298
42	0,001817	0,000663	0,02269	0,019448	0,736842
43	0,001926	0,000697	0,02676	0,020529	0,754386
44	0,00258	0,001217	0,026946	0,021144	0,77193
45	0,002647	0,001559	0,029176	0,023374	0,789474
46	0,003178	0,001647	0,030082	0,023444	0,807018
47	0,003593	0,001743	0,03275	0,026307	0,824561
48	0,003696	0,002428	0,036105	0,02676	0,842105

49	0,003775	0,003203	0,041745	0,031296	0,859649
50	0,003788	0,003476	0,042901	0,033313	0,877193
51	0,003934	0,00382	0,055513	0,039611	0,894737
52	0,005844	0,004675	0,059806	0,04002	0,912281
53	0,007062	0,004915	0,064283	0,043626	0,929825
54	0,013449	0,006351	0,122823	0,056322	0,947368
55	0,019645	0,008336	0,141105	0,073458	0,964912
56	0,036966	0,013472	0,146589	0,090776	0,982456
57	0,059806	0,018927	0,276767	0,124839	1

#### D.10 BER SIMO dan MISO Bandung-Surabaya

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2
	BER			
1	0,030921	0,002563	0,002974	0,0116
2	0,001037	0,000286	0,000227	0,018088
3	0,01322	0,002172	0,002175	0,01313
4	0,000205	0,00325	0,000195	0,019796
5	0,000372	0,003091	0,00035	0,006505
6	0,001922	0,000678	0,000513	0,022842
7	0,003045	0,001085	0,000882	0,008585
8	0,002426	0,000586	0,000493	0,010915
9	0,005783	0,001626	0,001341	0,023587
10	0,003506	0,001583	0,001197	0,012279
11	0,013288	0,001376	0,001526	0,006814
12	0,003201	0,003746	0,001862	0,023659
13	0,000199	0,000188	9,77E-05	0,00839
14	0,000121	6,15E-05	4,13E-05	0,003593
15	0,00019	9,57E-05	6,40E-05	0,010616



16	0,000321	0,000102	7,87E-05	0,005212
17	0,000174	0,000342	0,000116	0,019596
18	0,000396	0,000222	0,000143	0,024025
19	0,000435	0,000387	0,000209	0,009283
20	0,002554	0,000384	0,000337	0,034194
21	0,001168	0,000251	0,000216	0,004794
22	0,00439	0,000222	0,000217	0,008274
23	7,38E-05	7,06E-05	3,64E-05	0,00442
24	0,000249	8,33E-05	6,33E-05	0,004631
25	0,000345	6,51E-05	5,56E-05	0,003708
26	0,000471	0,000224	0,000168	0,001586
27	0,000307	0,000495	0,000198	0,004552
28	0,000652	6,61E-05	6,15E-05	0,002585
29	0,000392	0,000145	0,000111	0,002224
30	0,000814	0,00024	0,000198	0,002768
31	0,00064	0,000127	0,000112	0,002019
32	0,000113	0,00015	6,50E-05	0,006522
33	7,83E-05	5,09E-05	3,11E-05	0,00376
34	0,000547	2,52E-05	2,43E-05	0,002866
35	7,68E-05	6,15E-05	3,43E-05	0,008632
36	7,77E-05	6,45E-05	3,55E-05	0,005497
37	0,000104	4,02E-05	2,94E-05	0,002063
38	3,80E-05	3,25E-05	5,15E-05	2,66E-05
39	3,60E-05	1,45E-05	4,09E-05	1,38E-05
40	3,75E-05	2,25E-05	3,63E-05	2,29E-05
41	6,68E-05	4,09E-05	5,70E-05	4,57E-05
42	3,92E-05	3,09E-05	5,54E-05	2,51E-05
43	0,000105	8,42E-05	0,000114	7,92E-05
44	7,12E-05	4,30E-05	3,99E-05	8,16E-05

45	0,000124	8,27E-05	9,28E-05	0,000107
46	5,55E-05	4,86E-05	8,75E-05	3,68E-05
47	5,89E-05	3,98E-05	6,03E-05	3,91E-05
48	2,58E-05	3,61E-05	0,000114	1,73E-05
49	2,21E-05	1,35E-05	3,99E-05	1,06E-05
50	5,57E-05	2,20E-05	9,28E-05	1,90E-05
51	0,000128	2,08E-05	8,75E-05	2,25E-05
52	4,00E-05	1,58E-05	6,03E-05	1,39E-05
53	0,000359	3,56E-05	0,002694	3,27E-05
54	5,79E-05	7,23E-05	0,001332	3,30E-05
55	7,19E-05	8,87E-05	0,00239	4,04E-05
56	6,65E-05	0,000107	0,002926	4,16E-05
57	0,00027	0,000137	0,008051	9,20E-05

#### **D.11 Hasil CDF BER SIMO dan MISO Surabaya-Malang**

Indeks Sampel	SIMO 1	SIMO 2	MISO 1	MISO 2	Ratio Probability
	BER				
1	2,21E-05	1,35E-05	2,43E-05	1,06E-05	0,017544
2	2,58E-05	1,45E-05	2,94E-05	1,38E-05	0,035088
3	3,60E-05	1,58E-05	3,11E-05	1,39E-05	0,052632
4	3,75E-05	2,08E-05	3,43E-05	1,73E-05	0,070175
5	3,80E-05	2,20E-05	3,55E-05	1,90E-05	0,087719
6	3,92E-05	2,25E-05	3,63E-05	2,25E-05	0,105263
7	4,00E-05	2,52E-05	3,64E-05	2,29E-05	0,122807
8	5,55E-05	3,09E-05	3,99E-05	2,51E-05	0,140351
9	5,57E-05	3,25E-05	3,99E-05	2,66E-05	0,157895
10	5,79E-05	3,56E-05	4,09E-05	3,27E-05	0,175439

11	5,89E-05	3,61E-05	4,13E-05	3,30E-05	0,192982
12	6,65E-05	3,98E-05	5,15E-05	3,68E-05	0,210526
13	6,68E-05	4,02E-05	5,54E-05	3,91E-05	0,22807
14	7,12E-05	4,09E-05	5,56E-05	4,04E-05	0,245614
15	7,19E-05	4,30E-05	5,70E-05	4,16E-05	0,263158
16	7,38E-05	4,86E-05	6,03E-05	4,57E-05	0,280702
17	7,68E-05	5,09E-05	6,03E-05	7,92E-05	0,298246
18	7,77E-05	6,15E-05	6,15E-05	8,16E-05	0,315789
19	7,83E-05	6,15E-05	6,33E-05	9,20E-05	0,333333
20	0,000104	6,45E-05	6,40E-05	0,000107	0,350877
21	0,000105	6,51E-05	6,50E-05	0,001586	0,368421
22	0,000113	6,61E-05	7,87E-05	0,002019	0,385965
23	0,000121	7,06E-05	8,75E-05	0,002063	0,403509
24	0,000124	7,23E-05	8,75E-05	0,002224	0,421053
25	0,000128	8,27E-05	9,28E-05	0,002585	0,438596
26	0,000174	8,33E-05	9,28E-05	0,002768	0,45614
27	0,00019	8,42E-05	9,77E-05	0,002866	0,473684
28	0,000199	8,87E-05	0,000111	0,003593	0,491228
29	0,000205	9,57E-05	0,000112	0,003708	0,508772
30	0,000249	0,000102	0,000114	0,00376	0,526316
31	0,00027	0,000107	0,000114	0,00442	0,54386
32	0,000307	0,000127	0,000116	0,004552	0,561404
33	0,000321	0,000137	0,000143	0,004631	0,578947
34	0,000345	0,000145	0,000168	0,004794	0,596491
35	0,000359	0,00015	0,000195	0,005212	0,614035
36	0,000372	0,000188	0,000198	0,005497	0,631579
37	0,000392	0,000222	0,000198	0,006505	0,649123
38	0,000396	0,000222	0,000209	0,006522	0,666667
39	0,000435	0,000224	0,000216	0,006814	0,684211

40	0,000471	0,00024	0,000217	0,008274	0,701754
41	0,000547	0,000251	0,000227	0,00839	0,719298
42	0,00064	0,000286	0,000337	0,008585	0,736842
43	0,000652	0,000342	0,00035	0,008632	0,754386
44	0,000814	0,000384	0,000493	0,009283	0,77193
45	0,001037	0,000387	0,000513	0,010616	0,789474
46	0,001168	0,000495	0,000882	0,010915	0,807018
47	0,001922	0,000586	0,001197	0,0116	0,824561
48	0,002426	0,000678	0,001332	0,012279	0,842105
49	0,002554	0,001085	0,001341	0,01313	0,859649
50	0,003045	0,001376	0,001526	0,018088	0,877193
51	0,003201	0,001583	0,001862	0,019596	0,894737
52	0,003506	0,001626	0,002175	0,019796	0,912281
53	0,00439	0,002172	0,00239	0,022842	0,929825
54	0,005783	0,002563	0,002694	0,023587	0,947368
55	0,01322	0,003091	0,002926	0,023659	0,964912
56	0,013288	0,00325	0,002974	0,024025	0,982456
57	0,030921	0,003746	0,008051	0,034194	1

Catatan : dimana E- =  $10^{-}$

## BIOGRAFI



Rizki Arvianta, lahir di Jakarta pada tanggal 31 Maret 1996. Saya memulai pendidikan saya di Tk Al-Husna Jakarta, kemudian melanjutkan pendidikan di SDS HANG TUAH I Jakarta Utara, lalu melanjutkan pendidikan di SMPN 95 Jakarta Utara, setelah itu melanjutkan pendidikan di SMAN 13 Jakarta Utara, hingga saat ini sedang menyelesaikan pendidikan di S1 Departemen Teknik Elektro bidang studi Telekomunikasi Multimedia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.